

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ**

**ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ**

**ΚΛΑΔΟΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:**

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΡΟΥ -  
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ  
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ»**

**ΦΙΛΙΠΠΟΣ. ΣΤΑΜ. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ  
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2012**

**Ορισμός θέματος και Επιβλέποντα Καθηγητή:** Γ.Σ. Γενικού Τμήματος 21-6-2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής Γ.Π.Α

**Ορισμός Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:** Γ.Σ. Γενικού Τμήματος 7-2-2012

1. Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής Γ.Π.Α (επιβλέπων Καθηγητής)
2. Ιωάννης Τσίρος, Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
3. Κωνσταντίνος Σερέλης, Επίκουρος Γ.Π.Α.

**Παρουσίαση Μελέτης και Εξέταση:** 15-2-2012

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία, με θέμα «Υδρογεωλογικές συνθήκες της Ν. Λέρου - Διερεύνηση παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης», αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι, για την επιτυχή ολοκλήρωση του Μεταπτυχιακού κύκλου Σπουδών «Θετικές Επιστήμες στην Γεωπονία», με ειδίκευση στον κλάδο «Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον στο Σχεδιασμό Έργων Υποδομής», του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Απ' τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Υδρογεωλογίας κ. Γ. Σταμάτη για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθειά του στο εργαστήριο και για την επιστημονική υποστήριξη, που μου προσέφερε, σ' όλη την προσπάθεια μου. Η συνεργασία, που είχαμε ήταν άψογη, σ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ιωάννη Τσίρο και τον Επίκουρο κ. Κωνσταντίνο Σερέλη για την κριτική ανάγνωση του κειμένου της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επιπρόσθετα, θέλω να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους, κ. Γιώργο Μηλιαρέση και κ. Σπυρίδωνα Μπέλλα, για τις πολύτιμες πληροφορίες, που μου προσέφεραν, και για την ηθική συμπαράσταση, αλλά και την φιλόλογο μου κ. Ελένη Θεοδωρακοπούλου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον πατέρα μου, Φιλίππιδη Σταμάτη, και στον φίλο Ιωάννη Παπαδημητρίου, οι οποίοι με βοήθησαν στην καταγραφή των υδροσημείων και στη δειγματοληψία. Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τους υποψηφίους διδάκτορες, τον κ. Νίκο Χαριζόπουλο και την κ. Δήμητρα Γαμβρουλά, οι οποίοι με βοήθησαν στην επεξεργασία των κλιματολογικών δεδομένων και στη χρήση στατιστικών μεθόδων, αντίστοιχα.

Τέλος, να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την ηθική στήριξη και συμπαράσταση, που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα, στην εκπόνησης της εργασίας αυτής.

**Αφιερώνεται,  
στην αδελφή μου.**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>14</b>
1.1 Σκοπός της μελέτης.....	14
1.2 Προηγούμενες έρευνες στην περιοχή.....	16
<b>2. ΓΕΝΙΚΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ-ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ .....</b>	<b>18</b>
2.1 Γεωγραφική θέση της Ν. Λέρου.....	18
2.2 Περιγραφή Δημοτικού διαμερίσματος Λέρου.....	18
2.2.1. Δημογραφικά χαρακτηριστικά.....	18
2.2.2. Τομεακή και κλαδική διάρθρωση της απασχόλησης.....	20
2.2.3. Φυσικό περιβάλλον.....	20
2.2.4. Καταγραφή προστατευμένων Πολιτιστικών πόρων.....	24
2.3 Χωροταξική οργάνωση του Δήμου - Χρήσεις γης.....	24
2.3.1 Υφιστάμενη οικιστική ανάπτυξη.....	24
2.3.2. Δίκτυα υποδομής.....	26
2.3.2.1. Μεταφορικό δίκτυο.....	26
2.3.2.2 Ενεργειακό δίκτυο - Τηλεπικοινωνίες.....	28
2.3.2.3 Ύδρευση, αποχέτευση, απορρίμματα.....	28
<b>3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>30</b>
3.1 Περιγραφή ανάγλυφου.....	33
3.2 Ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου.....	41
<b>4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....</b>	<b>46</b>
4.1 Κλιματολογικά δεδομένα.....	46
4.2 Περιγραφή του κλίματος.....	50
4.3 Ομβροθερμικό διάγραμμα.....	53
4.4 Εκτίμηση Υδρολογικού Ισοζυγίου.....	54
<b>5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>57</b>
5.1 Παλαιογεωγραφία.....	57
5.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί.....	63
5.2.1 Προαλπικοί σχηματισμοί.....	63
5.2.2 Αλπικοί σχηματισμοί.....	67
5.2.3 Μεταλπικοί σχηματισμοί.....	67
5.3 Τεκτονική δομή.....	71

<b>6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>73</b>
6.1 Υδρολιθολογία - Υδρογεωλογικά Περιβάλλοντα.....	73
6.2 Υδροσυστήματα - Υδροφόροι Ορίζοντες.....	75
6.2.1 Υδροφορία κρυσταλλοσχιτωδών σχηματισμών.....	75
6.2.2 Καρστική υδροφορία.....	78
6.2.3 Υδροφορία Νεογενών σχηματισμών και Τεταρτογενών αποθέσεων.....	80
6.2.4 Πιεζομετρία.....	81
<b>7.ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>84</b>
7.1 Γενικά.....	84
7.2 Δειγματοληψία νερού - Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων.....	84
7.3 Επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....	90
7.4 Φυσικοχημικές παράμετροι.....	91
7.4.1 Θερμοκρασία.....	91
7.4.2 pH - Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh).....	94
7.4.3 Διαλυμένο οξυγόνο (O <sub>2</sub> ).....	98
7.4.4 Αγωγιμότητα (E.C).....	100
7.4.5 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS - Total Dissolved Solids).....	101
7.4.6 Σκληρότητα.....	106
7.5 Κύρια ιόντα.....	109
7.5.1 Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> ).....	109
7.5.2 Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> ).....	112
7.5.3 Νάτριο (Na <sup>+</sup> ).....	115
7.5.4 Κάλιο (K <sup>+</sup> ).....	118
7.5.5 Ώξινα ανθρακικά ιόντα (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	121
7.5.6 Χλώριο (Cl <sup>-</sup> ).....	123
7.5.7 Θεϊκά ιόντα (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	126
7.5.8 Νιτρικά ιόντα (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	129
7.6 Δευτερεύοντα στοιχεία και διοξείδιο του πυριτίου (SiO <sub>2</sub> ).....	132
7.6.1 Αμμωνιακά ιόντα (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	132
7.6.2 Φωσφορικά ιόντα (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ).....	134
7.6.3 Βρώμιο (Br <sup>-</sup> ).....	135
7.6.4 Ιώδιο (I <sup>-</sup> ).....	137
7.6.5 Διοξείδιο του πυριτίου (SiO <sub>2</sub> ).....	141
7.7 Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων των κύριων στοιχείων.....	143

7.8 Βαρέα μέταλλα.....	152
7.8.1. Σίδηρος ( $Fe^{2+}$ - $Fe^{3+}$ ).....	152
7.8.2. Μαγγάνιο (Mn).....	155
7.8.3. Ψευδάργυρος (Zn).....	157
7.8.4. Νικέλιο (Ni).....	158
7.8.5. Χρώμιο (Cr).....	162
7.8.6. Χαλκός (Cu).....	164
7.8.7. Κάδμιο (Cd).....	166
7.8.8 Κοβάλτιο (Co).....	168
7.9 Υδροχημική ταξινόμηση.....	170
7.9.1 Ταξινόμηση των υπόγειων νερών κατά Piper.....	170
7.9.2 Ταξινόμηση των υπόγειων νερών με το διευρυμένο διάγραμμα Durov.....	174
7.9.3 Ταξινόμηση κατά Schoeller.....	179
7.9.4 Προέλευση των στοιχείων - Ιοντικές σχέσεις.....	183
7.9.4.1 Ιοντικός λόγος Na/Cl.....	183
7.9.4.2 Ιοντικός λόγος Cl/SO <sub>4</sub> .....	184
<b>8. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....</b>	<b>187</b>
8.1 Ανάλυση συστοιχίας - Hierarchical Cluster Analysis (HCA).....	187
8.2 Παραγοντική ανάλυση - Factor analysis.....	191
<b>9. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ.....</b>	<b>197</b>
9.1 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση.....	197
9.2 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για άρδευση.....	201
<b>10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>207</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>210</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>214</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Λέρος είναι ένα νησί του νοτιοανατολικού Αιγαίου και υπάγεται στο νομό Δωδεκανήσου. Ειδικότερα, βρίσκεται ανάμεσα στα νησιά Πάτμο και Λειψούς, προς βορά, και Κάλυμνο (1 ν.μ.), προς νότο. Απέχει απ' τον Πειραιά 179 ν.μ. και από τη Μικρασιατική ακτή 7 ν.μ. Η Λέρος έχει έκταση 54 km<sup>2</sup> και μήκος ακτογραμμής 83km, γεγονός, που δείχνει τον πλούσιο θαλάσσιο διαμελισμό των ακτών της, που σχηματίζουν βαθύς κόλπους και όρμους.

Με βάση το γενικό πολεοδομικό σχέδιο του Δήμου Λέρου, αντιπροσωπεύει ένα Δημοτικό διαμέρισμα, το οποίο αποτελείται απ' την νήσο Λέρο και από άλλες νησίδες, που κάποιες απ' αυτές κατοικούνται (Κίναρος - Λέβιθα - Φαρμακονήσι). Η Λέρος έχει πληθυσμό 2.207 κατοίκους και αντιπροσωπεύει το 4,32% του νομού. Οι κάτοικοι ασχολούνται κυρίως με τον τριτογενή τομέα (δημόσιες και τουριστικές επιχειρήσεις), παρά με τον δευτερογενή τομέα (κατασκευές). Ο οικισμός Αγία Μαρίνα είναι η πρωτεύουσα του Δήμου και περιλαμβάνει τρεις οικιστικές ενότητες - γειτονίες: α) την Αγία Μαρίνα, στη βόρεια παραλία του κεντρικού τμήματος του νησιού, β) τον Πλάτανο, στον αυχένα, μεταξύ του λόφου του Κάστρου και του υψώματος Μεροβίγλι και γ) το Παντέλι, στο μυχό του ομώνυμου όρμου. Πολλές απ' τις διοικητικές και κοινωνικές υποδομές βρίσκονται στις περιοχές Αγ. Μαρίνα και Πλάτανος. Όλοι οι οικισμοί καλύπτονται απ' το δίκτυο ύδρευσης, που τροφοδοτείται απ' γεωτρήσεις και πηγές.

Στην παρούσα μελέτη, το ενδιαφέρον μας εστιάζεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού, το οποίο έχει έκταση 16,2 km<sup>2</sup> και τοποθετείται ανάμεσα στους Όρμους Γούρνας, Άλιντα και Παντέλι. Στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, οι υψηλότερες κορυφές είναι το Κλειδί (321m), η Βαγιά (264m) και η Μεμιγκαρία (177m), απ' τις οποίες περνάει ο βόρειος υδροκρίτης, ενώ στο νότιο τμήμα, οι υψηλότερες κορυφές είναι η Πατέλα (250m), το Μεροβίγλι (197m), η Παναγία του Κάστρου (160m) και Απεττίκι (174m) απ' τις οποίες περνάει ο κεντρικός υδροκρίτης. Το ανάγλυφο γίνεται πολύ έντονο, κυρίως στις περιοχές, οι οποίες δομούνται από ανθρακικά πετρώματα. Στο υδρογραφικό δίκτυο κυριαρχεί ο δενδριτικός τύπος. Σε σπάνιες περιπτώσεις όμως, εμφανίζεται ο κλιμακωτός και ο τεθλασμένος τύπος, σε κάποιες υπολεκάνες της περιοχής μελέτης.

Από γεωλογική άποψη, η Λέρος ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη της υποπελεγονικής. Το κεντρικό τμήμα της χαρακτηρίζεται απ' τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (sch) και τα ημιμεταμορφωμένα, χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης σχηματισμού (C-P.ph,qt), του Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου - Περμίου. Τα πρώτα έχουν επωθηθεί στα δεύτερα και καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Επίσης, πάνω απ' τους παλαιοζωικούς σχηματισμούς τοποθετούνται οι αλπικοί σχηματισμοί, όπως οι δολομίτες μέσου-ανώτερου Τριαδικού, και οι ασβεστόλιθοι κατώτερου έως μέσου Ιουρασικού. Κατά μήκος των παραλιακών ζωνών παρατηρούνται αλλουβιακές αποθέσεις, στο βορειοανατολικό τμήμα



εντοπίζονται κώνοι κορημάτων, σύγχρονα πλευρικά κορήματα και παλαιά κροκαλοπαγή, ενώ στο νοτιοδυτικό τμήμα, εμφανίζονται μολλασικά ιζήματα.

Από τεκτονική άποψη, η περιοχή χαρακτηρίζεται από την επώθηση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (sch) επί των ημιμεταμορφωμένων πετρωμάτων (C-P.ph,qt), τα οποία βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, δηλαδή στις περιοχές Γούρνα, Συκέα, Κριθώνι, Κόκκαλη, αλλά και επωθήσεις, όπως των ασβεστόλιθων (Ji-mK) επί των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (sch). Εκτός απ' τις παραπάνω, εντοπίζονται δύο συστήματα κανονικών ρηγμάτων, ΒΔ-ΝΑ/κής, και Α-Δ διεύθυνσης.

Η Λέρος, σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Korpen ανήκει στο εύκρατο τύπο κλίματος με ξηρό θέρος. Σε γενικές όμως γραμμές, ο τύπος του κλίματος μπορεί να θεωρηθεί ημιυγρός προς ξηρός με καθόλου ή μηδαμινό πλεόνασμα νερού κατά τον χειμώνα. Το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων είναι 498,4mm, η μέση ετήσια θερμοκρασία 18,6 °C και η μέση ετήσια σχετική υγρασία 67,8%. Επίσης, όσον αφορά την διακύμανση άλλων καιρικών φαινομένων, παρατηρούμε ότι η πτώση χαλαζιού είναι ένα σπάνιο φαινόμενο, ενώ συχνότερα εμφανίζονται οι καταιγίδες, οι οποίες έχουν μικρότερη εμφάνιση, σε σχέση με τις ημέρες βροχής.

Από υδρολιθολογική άποψη διακρίνονται τρεις ομάδες πετρωμάτων: τα ανθρακικά πετρώματα, τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, και οι τεταρτογενείς αποθέσεις. Με βάση την περατότητα τους, χαρακτηρίζονται ως υδροπερατά, πρακτικά αδιαπέρατα έως ημιπερατά και ημιπερατά, αντίστοιχα. Βάση της ανάπτυξης των σχηματισμών αυτών, εκτιμήθηκαν τα ετήσια ανανεώσιμα δυναμικά υδατικά αποθέματα, που ανέρχονται σε 1.178.268m<sup>3</sup>, χωρίς να υπολογιστούν οι απώλειες προς την θάλασσα. Επίσης, υπολογίστηκε το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής μελέτης (κεντρικό τμήμα). Η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή και η κατείσδυση αυτού, εκτιμήθηκε 66,8%, 18,5% και 14,7%, αντίστοιχα.

Σκοπός, της συγκεκριμένης μελέτης, είναι α) η περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών, β) η διερεύνηση των παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων νερών, γ) η εκτίμηση της καταλληλότητας για διάφορες χρήσεις και δ) η παρουσίαση προτάσεων. Η παρουσίαση, η ανάλυση και η ερμηνεία των υδροχημικών αποτελεσμάτων έγινε με βάση την λιθολογική σύσταση του υδροφορέα προέλευσης των δειγμάτων, δηλαδή σε α) κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι), β) ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα) και γ) αλλουβιακές αποθέσεις.

Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, αναφορικά ως προς τα κύρια ιόντα, διαπιστώνεται ότι στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων (al), το κύριο στοιχείο είναι το ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>), το δεύτερο κατά σειρά είναι το νάτριο (Na<sup>+</sup>), ενώ τρίτο κατά σειρά έρχεται το μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>). Επίσης, λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης, το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο (Cl<sup>-</sup>), ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και

τα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Στα καρστικά υδροσυστήματα (Ji-m.k), το κυρίαρχο κατιόν είναι το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Επίσης, το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο, ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) και τα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (sch & C-P,ph.qt), τα κυρίαρχα κατιόντα είναι το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) και το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ), ενώ το δεύτερο, κατά σειρά, είναι το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Επίσης, από τα ανιόντα, το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ), ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) και τα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων ταξινομήθηκαν κατά υδροχημικές κατηγορίες, με βάση των διαγραμμάτων Schoeller, Piper και Durov. Αυτά είναι σημαντικά εργαλεία, τα οποία ομαδοποιούν τα δείγματα υπόγειου νερού, με βάση την χημική τους σύσταση, που απ' τα δύο τελευταία προέκυψαν τα ακόλουθα:

- Με βάση του διαγράμματος Piper, η πλειοψηφία των δειγμάτων των αλλουβιακών αποθέσεων ανήκει στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, και ειδικότερα στην ομάδα των θεικών. Αυτά εμφανίζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: α) Ca-Na-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub> και β) Ca-Na-Cl. Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα Δ25, το οποίο ανήκει στην κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα στην ομάδα των χλωριοθεικών, με υδροχημικό τύπο Na-Ca-Cl. Όσον αφορά τα δείγματα, απ' τα ανθρακικά πετρώματα (καρστικές πηγές), Παναγίες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8-Δ41), ανήκουν στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και ειδικότερα στην ομάδα των οξυανθρακικών νερών. Αυτές έχουν υδροχημικό τύπο Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl. Οι πηγές, όμως, του Αγ. Αντώνιου (Π3-Δ39) και Ρήνα (Π1-Δ40) ανήκουν στην ομάδα των αλκαλικών νερών και ειδικότερα στην ομάδα των χλωριοθεικών. Αυτές εμφανίζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: α) Na-Ca-Cl και β) Na-Cl, αντίστοιχα. Τα υπόγεια νερά από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) στη κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, και συγκεκριμένα στην ομάδα των οξυανθρακικών ή των θεικών, β) στη κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα στην ομάδα των χλωριοθεικών. Αυτές εμφανίζουν τους ακόλουθους γενικούς υδροχημικούς τύπους: α) Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl, β) Ca-Na-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub> ή Na-Ca-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub> και γ) Na-Mg-Ca-Cl, αντίστοιχα.
- Με βάση τα διαγράμματα Durov, οι γενικοί υδροχημικοί τύποι είναι Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Cl έως Na-Cl και τα δύο τελευταία δείχνουν υφάλμυρα νερά. Επίσης, παρατηρούνται φρέσκα νερά με γενικό χημικό τύπο Ca-HCO<sub>3</sub>, τα οποία προέρχονται από την καρστική ενδοχωρική πηγή Παναγίες (Π5-Δ22) και από τα ανθρακικά κρυσταλλικά πετρώματα (C-P.k), τα οποία βρίσκονται, με την μορφή οριζόντων ή/και φακών, εντός του ημιμεταμορφωμένου μέχρι

χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης σχηματισμού (C-P.ph.qt). Επιπρόσθετα, υπόγεια νερά με γενικό χημικό τύπο Ca-Cl, τα οποία αποδεικνύουν την αντίστροφη κατιοανταλλαγή.

- Με την παρουσία των μεταλλικών ιχνοστοιχείων, προκύπτει σημαντική επιβάρυνση των υπόγειων υδάτων της περιοχής. Οι συγκεντρώσεις τους είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια, που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό, αλλά και για χρήση αρδευτικού νερού. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις, οφείλονται κυρίως στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης, λόγω της παρουσίας των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Επιπλέον, όσον αφορά την ποιότητα τους, ως αρδευτικό νερό, δεν είναι πολύ καλή λόγω της υψηλής αλατότητας, που εμφανίζουν. Αυτή, όμως, πρέπει να σχετίζεται με την αλατότητα του εδάφους και την περατότητα των εδαφών.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση των υδροχημικών αποτελεσμάτων, χρησιμοποιώντας δυο μεθοδολογίες: α) cluster analysis και β) factor analysis. Στην πρώτη μέθοδο, ομαδοποιήσαμε τα δείγματα υπόγειου νερού. Προέκυψαν τέσσερις ομάδες δειγμάτων, οι οποίες μας δείχνουν τον βαθμό υφαλμύρωσης, απ' τα χαμηλότερα μέχρι τα υψηλότερα τοπογραφικά σημεία. Στη δεύτερη μέθοδο ομαδοποιήσαμε τα ιόντα,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$  και προέκυψαν τέσσερις παράγοντες. Ο πρώτος και ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει την υφαλμύρωση, απ' την διείσδυση της θάλασσας και την χρήση λιπασμάτων, αντίστοιχα, ενώ ο τρίτος και ο τέταρτος παράγοντας αντιπροσωπεύουν την γεωγενή προέλευση των βαρέων μετάλλων.

## **ABSTRACT**

Leros is an island of the Southeast Aegean that belongs to the prefecture of Dodecanese. It is placed among Patmos and Leipsi islands from its north side and from the south it is next to Kalymnos. It is distance of 179 (nautical miles) from Pireaus and 7 (n.m) from the Asian shore. Furthermore, the islands is  $54\text{Km}^2$  in extend and its coastline extends in 83Km, which proves that it has extended shores, which from deep gulfs and bights.

According to the general urban drawings of Lero's Municipality, it is constituted of a Municipal district which includes the island of Leros and many other smaller islands which some of them are inhabited (Cenaros, Levitha, Farmakonisi). Leros has 2207 inhabitants which stands up for the 4,32 % of the district's population. Most of the island's inhabitants are occupied on the tertiary sector (public services) rather than the secondary sector (tourist industry).

The region of Agia Marina is the capital of the Municipality and it's consisted of three regional units - neighborhood : a) Agia Marina at the North coast of the central part of the

island, b) Platanos which stands between the hill of the Castle and the mount of Merovigli and c) Panteli which is situated at the heart of Panteli's bight. Most of the social and administrative infrastructures are situated in Ag. Marina and Platanos. All the neighborhoods are supplied from a network of water supply which is supplied from boreholes and springs.

The project focus on the extend of is the central part of island, which is in extend 16,2Km<sup>2</sup> and situated in the bights Gournas, Alinta and Panteli. On the north part of our area of study, the highest hills are Clidi (321m), Baghia (264m) and Memigharea (177m), from where the north watershed runs through, while on the central part, the highest hills are Patela (250m), Hemerovighli (197m), that mount of Madonna's Castle (160m) and Apettiki (174m) from where the central watershed runs through. The relief of the area becomes more vivid on the areas which are structured by carbonates rocks. In hydrographical network dominates the dendritic type, but in rare cases, it has the graduated and the distressed type.

From a geological point of view, Leros belongs in the geotectonic zone Sub-Pelagoniki and is characterized by the metamorphic rocks of the Variscan basement (sch) and semi-metamorphic and low grade metamorphic rocks (C-P.ph.qt), upper Carboniferous - Permian, which the first ones have been pushed onto (overthrust) the second ones and they cover the biggest department of study area (Gournas, Sykea, Krithoni, Kokkali). Also, the Alpine rocks are placed on top of the Paleozoic rocks, as dolomites of middle-upper Triassic and limestones of lower-middle Jurassic. Moreover, at the length of the coastal areas we observe alluvial deposits, in the north-eastern department cones gravels are located, modern lateral gravels and old conglomerate with matrix, while in the south-western department of study area, Miocene sediments are present.

From a tectonic point of view, the study area is characterized by the overthrust of the Variscan rocks basement (sch) on the semi-metamorphic rocks (C-P.ph, qt), which are found in the central department of study area, but also in others, as the limestones (Ji-m.k) on the metamorphic rocks of Variscian. Also, two systems of regular of normal faults with NW-SE and E -W directions.

Leros, according to Koppen's classification belongs in the mild type of climate with dry harvest, but in general terms the type of climate can be considered as semi-dry to dry with small or zero surplus of water in winter. The medium annual precipitation are 498,4mm, and the medium annual temperature is 18,6 °C and the medium and the medium humidity is 67,8%. Also, as far as, fluctuation of other meteorological phenomena is concerned, we observe that hail isn't a frequent phenomenon, while there are more storms, which also appear less compared to the rainy days.

From a hydrological point of view three types-groups of rocks can be distinguished: the carbonate rocks, the metamorphic-crystalline rocks, and quaternary deposits, which according to their permeability, they are very permeable, practically they aren't permeable even semi-permeable and semi-permeable, respectively. Also, in these groups of rocks and in the particular extent that they cover the region of study, the annual renewable potential watery reserves were estimated in the  $1.178.268\text{m}^3$ , without having calculated the losses to the sea. Also, the hydrologic balance of study area was estimated and the evapotranspiration, runoff and infiltration, calculated 66,8%, 18,5% and 14,7%, respectively.

The aim of this study is to describe the hydro-geological conditions of central Leros, a deeper study of the factors of qualitative devalorisation of groundwater, to assess the suitability for various uses and to propose a possible exploitation of certain waters.

Also, for a better presentation, analysis and interpretation of the of hydro-chemical results, these were divided with lithology, where the samples taken, such as a) crystalline metamorphic rocks (phyllites, slates, quartzites) b) carbonates rocks (limestones, dolomites, crystalline carbonate rocks), c) quaternary deposits.

According to the presentation of chemical analysis of main ions it is concluded that in alluvial deposits (al), the main element is the calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), secondly the sodium ( $\text{Na}^+$ ) and thirdly the magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Also, because of marine infiltration, the sovereign anion is the chloride ( $\text{Cl}^-$ ), while second and third on line are bicarbonate ions ( $\text{HCO}_3^-$ ), and sulfate ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). In karstic water systems (Ji-m.k), the sovereign cation is the sodium ( $\text{Na}^+$ ), while second and third is the calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) and the magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Also, the sovereign anion is the chloride, while second and third on line are bicarbonate ions ( $\text{HCO}_3^-$ ), and sulfate ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). In metamorphic rocks (sch & C-P, ph.qt), the sovereign cation are the sodium ( $\text{Na}^+$ ) and the calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), while second on line it is the magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Also, from the anions, the sovereign anion is the chloride ( $\text{Cl}^-$ ), while second and third on line are bicarbonate ions ( $\text{HCO}_3^-$ ), and sulfate ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Also, the results of hydro-chemical analysis were divided with the diagrams of Schoeller, Piper and Durov, the two last are important tools that list the samples of underground water according to their chemical constitution. The results appeared as such:

- According to Piper's diagrams, the majority of samples from the alluvial deposits in the category of geoalkalio waters with high percentage of alkalis and precisely in the team of sulfate, apart from sample D25, which belongs in the category of alkaline waters and more specifically in the team of chloro-sulfate. These groundwaters have hydrochemical type, a) Ca-Na-Mg-Cl- $\text{HCO}_3$ , b) Ca-Na-Cl and c) Na-Ca-Cl, respectively. As far as it concerns the samples from springs of Panagies (P5-D22) and Sykidia (P8-D41) they belong in the

category of geoalkalium waters with high percentage of alkalis and precisely in the team of bicarbonate waters, while the springs of St. Antonios (P3-D39) and Rina (P1-D40) belong in the team of alkaline waters and more specifically in the team of chloro-sulfate. These groundwaters have hydrochemical type: a) Na-Ca-Cl and β) Na-Cl, respectively. While the groundwater from the metamorphic rocks, are categorized in two main categories: a) the category of geoalkalium waters with high percentage of alkalis and precisely in the team of bicarbonate or sulfate, and b) the category of alkaline waters and more specifically in the team of chloro-sulfate. These groundwaters have hydrochemical type: a) Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl, b) Ca-Na-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub> or Na-Ca-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub> και c) Na-Mg-Ca-Cl, respectively.

- According to Durov's diagrams, the general hydrochemical types Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Cl and Na-Cl, where two final show brackish waters. Also, fresh waters are observed with the general chemical type Ca- HCO<sub>3</sub>, which emanate from the Karstic springs of Panagies 2 and form the carbonate crystalline rocks (C-P.k) which are found in the form of horizons and/or lenses inside the metamorphic rocks (C-P,ph.qt), but also underground waters with general chemical type Ca-Cl, which prove reverse cation - interchange.

Studying the heavy metals, it shows a significant burden on groundwater in the area where the concentrations are above the permitted limit that EU has set for potable water, but also for use as irrigation water. Due to the geological structure of the study area, which appear high concentrations, because of metamorphic rock. Moreover, as far as it concerns the quality, irrigation water is not very good because of the high salinity it presents, but this should be related to the salinity of soil and/or the permeability of soil.

Finally, a statistic analysis of the hydro-chemical results was performed, in which two methodologies were used: a) cluster analysis and b) factor analysis. In the first method, the samples grouped and generated four groups, which show us the degree of salinity from lowest to the highest topographical points. In the second method grouped the concentrations of ions, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cd, Mn, Cr, Fe and emerged four factors. The first and the second factor represent the salinization from the penetration of the sea and use of fertilizers, respectively, while the third and fourth factor represents heavy metals.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός της μελέτης.

Η ολοένα αυξανόμενη οικιστική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών, η εντατικοποίηση της γεωργίας και η ανάπτυξη βιομηχανικών μονάδων έχουν οδηγήσει στην γενική αύξηση της ζήτησης του νερού. Παρ' όλη την αφθονία του υδάτινου στοιχείου στην επιφάνεια της γης, λίγο είναι το ποσοστό, που μπορεί να υποστεί εκμετάλλευση. Επίσης, οι ανθρωπογενείς παράγοντες, σε συνδυασμό με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, έχουν οδηγήσει σε ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Οι υδατικοί πόροι πρέπει να αποτελούν κληρονομιά, που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει καλύτερης μεταχείρισης και όχι να παραμένει προϊόν υποβάθμισης της ανθρώπινης αλαζονείας. Έτσι λοιπόν, η Ευρωπαϊκή Ένωση, με την οδηγία 2000/60/EK, θέσπισε το πλαίσιο, μέσα στο οποίο θα προστατεύονται και θα χρησιμοποιούνται οι υδάτινοι πόροι.

Μια από τις βασικές προϋποθέσεις, για την εφαρμογή της οδηγίας - πλαίσιο, είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης. Η παρούσα μελέτη αναφέρεται στην υπάρχουσα κατάσταση της νήσου Λέρου και ειδικότερα στο κεντρικό τμήμα του νησιού, όπου παρατηρείται η συγκέντρωση του πληθυσμού, η εκμετάλλευση της γης και όπου υπάρχουν σημεία υδροληψίας. Αντίθετα, το βόρειο και το νότιο τμήμα είναι ορεινό και άγονο.

Η Λέρος, όπως και όλα τα μικρά νησιά του νοτιοανατολικού Αιγαίου, χαρακτηρίζεται από την έλλειψη νερού, κυρίως για ανθρώπινη κατανάλωση (πόσιμο), με αποτέλεσμα να επηρεάζει όλες τις πτυχές της καθημερινής ζωής του νησιού, αλλά κυρίως την οικονομική δραστηριότητα (Sapoutzaki et al, 2004). Συγκεκριμένα, κατά την διάρκεια της τουριστικής περιόδου, οι ανάγκες, για πόσιμο νερό και για άλλες χρήσεις, αυξάνονται, με αποτέλεσμα να στερεούνται κάποιες γεωτρήσεις, που χρησιμοποιούνται για τον αντίστοιχο λόγο. Αυτό έχει ως συνέπεια, να πραγματοποιούνται συνεχείς διακοπές του νερού, με αποτέλεσμα την άνιση κατανομή του νερού στο νησί, δίνοντας προτεραιότητα στις τουριστικές περιοχές. Επίσης, οι τοπικές αρχές αναγκάζονται να κάνουν συμβάσεις με εταιρίες, που μεταφέρουν νερό, με σκοπό την κάλυψη των αυξημένων αναγκών, πράγμα, που έχει αντίκτυπο στον οικονομικό προϋπολογισμό της κάθε οικογένειας αλλά και στις επιχειρήσεις, που ασχολούνται με τον τουρισμό, αφού το κόστος είναι μεγάλο.

Επιπλέον, όσον αφορά το πόσιμο νερό, μόνο μια γεώτρηση προσφέρεται γι' αυτή τη χρήση (Σμαλού-Δ1), απ' την οποία αντλείται και μεταφέρεται νερό με βυτιοφόρα, σε διάφορες μικρές δεξαμενές, σ' όλη την έκταση του νησιού, με σκοπό να εξυπηρετούνται οι πολίτες του νησιού. Βέβαια, υπάρχει και μια μεγάλη μερίδα πολιτών, που αναγκάζονται να πίνουν εμφιαλωμένο

νερό, είτε επειδή αντιμετωπίζουν κάποιο ιατρικό πρόβλημα υγείας και πρέπει να πίνουν πιο μαλακό νερό, σε σχέση με αυτό της γεώτρησης, είτε επειδή δεν τους αρέσει η γεύση.

Επίσης, αυτό το φαινόμενο παρατηρείται και στις επιχειρήσεις, που ασχολούνται με τον τουρισμό, που πάντα προσφέρουν εμφιαλωμένο νερό για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών τους, αλλά με οικονομικό αντίκτυπο στους πελάτες.

Εκτός όμως απ' το φαινόμενο της έλλειψης πόσιμου νερού, αυτό, που διατίθεται, δεν είναι καλής ποιότητας. Το νερό του δικτύου, που χρησιμοποιείται για οικιακή χρήση και άρδευση, αφενός καταστρέφει τις αντιστάσεις ηλεκτρικών συσκευών (πλυντηρίων, θερμοσιφώνων, κτλ), αφετέρου δημιουργεί προβλήματα στις καλλιέργειες, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι, κατά τους θερινούς μήνες (Sapoutzaki et al, 2004).

Στην Λερό έχουν αριθμηθεί πάνω από 60 γεωτρήσεις (νόμιμες και παράνομες), σύμφωνα με στοιχεία της τοπικής αρχής Δ.Ε.Υ.Α.Λ (Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης Λέρου). Κάποιες απ' αυτές έχουν αποδειχθεί αναποτελεσματικές ή έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, κάποιες απ' αυτές έχουν μεγαλύτερο βάθος απ' το επίπεδο της θάλασσας, με αποτέλεσμα την διατάραξη των υδραυλικών συνθηκών και την γρήγορη υφαλμύρωση του υπόγειου νερού. Όσον αφορά τον αριθμό των ανεξέλεγκτων γεωτρήσεων, οι σχετικές άδειες δόθηκαν από διοικητικές αρχές, οι οποίες δεν γνώριζαν τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, οι τοπικές αρχές είτε αγνοούσαν τα αποθέματα νερού είτε ενέδιδαν σε πιέσεις πολιτών, κατά την περίοδο των δημοτικών εκλογών (Sapoutzaki et al, 2004).

Βέβαια, εκτός απ' το πρόβλημα της υφαλμύρωσης, λόγω των ανεξέλεγκτων γεωτρήσεων, αλλά και της φυσικής διείσδυσης του θαλασσινού νερού, άλλοι πέντε παράμετροι έχουν σημαντικό ρόλο στην υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων: α) οι απορροφητικοί βόθροι, β) οι διαρροές απ' το αποχετευτικό σύστημα, γ) η συνεχής άντληση του υπόγειου νερού, για αρδευτικούς λόγους, δ) η χρήση κοπριάς ή/και λιπασμάτων, στις περιοχές, όπου καλλιεργούν, και ε) η υπόγεια μετακίνηση στραγγισμάτων, απ' τον χώρο ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων.

Οι απορροφητικοί βόθροι και οι διαρροές από το αποχετευτικό σύστημα μπορούν να μολύνουν τοπικά τον υδροφόρο ορίζοντα, λόγω της κατάληξης των λυμάτων στο έδαφος και, αν υπάρχει πυκνότητα τέτοιων βόθρων, προκαλείται ευρύτερη ρύπανση του υδροφόρου. Απ' την άλλη, η συνεχής άντληση του υπόγειου νερού για αρδευτικούς λόγους, εμπλουτίζει σε άλατα τον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα, αφού το νερό, που επιστρέφεται, αποκτά την τριπλάσια μέχρι και δεκαπλάσια αλατότητα, σε σχέση με το νερό, που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης, η χρήση λιπασμάτων ή/και κοπριάς εμπλουτίζει τον υδροφόρο με διαλυμένο άζωτο, λόγω του ότι ένα μέρος των λιπασμάτων συνήθως κατεισδύει προς τον ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα (Καλλέργης, 2000).



Τέλος, ο Χ.Α.Δ.Α (Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων) είναι μια σημαντική εστία μόλυνσης, αφού ο όγκος του στραγγίσματος, που παράγεται από τις ζυμώσεις των σκουπιδιών, συνιστά τοξικό ρύπο. Η τοξικότητα αυτή, με την πρόσθεση του βρόχινου νερού, πολλαπλασιάζεται και έτσι περνάει στο άμεσο γεωλογικό υπόβαθρο τους (Σούλιος, 2006).

Σκοπός λοιπόν της μελέτης είναι η περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών της νήσου Λέρου και η εκτίμηση της καταλληλότητας τους, για διάφορες χρήσεις. Για την επίτευξη των προαναφερόμενων στόχων έγιναν οι ακόλουθες σχετικές έρευνες: α) συλλογή και επεξεργασία βιβλιογραφικών δεδομένων, που αφορούν το υδρογεωλογικό καθεστώς της νήσου Λέρου, β) καταγραφή των υδροσημείων (γεωτρήσεις, φρεάτια, πηγές) και μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού και γ) λήψη δειγμάτων υπόγειων νερών και πραγματοποίηση-αξιολόγηση υδροχημικών αναλύσεων.

Η επεξεργασία και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και γραφημάτων Excel, υδροχημικών διαγραμμάτων (Piper, Durov, Schoeller) και στατιστικών προγραμμάτων (SPSS-19).

## **1.2 Προηγούμενες έρευνες στην περιοχή.**

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, η αυξημένη ανάγκη για εύρεση υδατικών αποθεμάτων, για την κάλυψη των αναγκών του νησιού, υποχρέωσαν τις τοπικές αρχές να αναθέσουν, στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, την πραγματοποίηση υδρογεωλογικής έρευνας, για τον εντοπισμό νέων αποθεμάτων υπόγειων νερών.

Οι ερευνητικές γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε, με υπεύθυνο τον Υδρογεωλόγο Παπαπέτρο Π., μεταξύ των ετών 1985-1987. Τα αποτελέσματα αυτών εκδόθηκαν σε δύο φάσεις (1985 & 1987), με τίτλο: «Αποτελέσματα γεωτρητικής έρευνας στη νήσο Λέρο (ά φάση) και (β' φάση)».

Το 2005, ο υδρογεωλόγος Tulipano Luigi δημοσιεύει την εργασία του, στο 7<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, με θέμα την διαχείριση του υπόγειου νερού στα μικρά νησιά (Groundwater management in small islands: the example of Leros – Dodecanese, Hellas). Ο Tulipano θεωρεί ότι τα περισσότερα υπόγεια νερά του νησιού είναι χαμηλής ποιότητας, λόγω της μόλυνσης τους από την διείσδυση της θάλασσας και τις ανθρώπινες δραστηριότητες, εκτός απ' το νερό, το οποίο προέρχεται από τους καρστικούς υδροφόρους και έχει τις χημικές προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθεί για ανθρώπινη κατανάλωση.

Τον Νοέμβριο του 2007, η ΔΕΥΑΛ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αρδευσης Λέρου) προέβη σε σύναψη Προγραμματικής Σύμβασης με το Ι.Γ.Μ.Ε, για την ανόρυξη ερευνητικής γεώτρησης βάθους 120m +/- 25%. Η θέση, που επιλέχθηκε, ήταν στην περιοχή Μισοράχιδο και επιλέχθηκε, επειδή δεν είχε ερευνηθεί υδρογεωλογικά και δεν γειτνιάζαν άλλες ιδιωτικές και

δημοτικές γεωτρήσεις. Το τελικό βάθος της γεώτρησης έφθασε στα 168m και η υδροφορία απαντήθηκε σε βάθος από 152 έως 162m. Η παροχή της γεώτρησης εκτιμήθηκε στα 10m<sup>3</sup>/ώρα. Το νερό της γεώτρησης έδειξε αγωγιμότητα 766 μS/cm και απαλλαγή από ρυπαντικούς δείκτες του αζώτου. Τα παραπάνω αποτελέσματα ενθάρρυναν την άποψη, ότι πρέπει να επεκταθεί η γεωτρητική έρευνα και σε άλλες περιοχές του νησιού, η οποία θα συμβάλει ουσιαστικά στην άμβλυνση του υδρευτικού προβλήματος.

Το 2010 εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε και από τους Υδρογεωλόγους κ.κ. Γιαννουλόπουλο και Λάππα, η υδρογεωλογική μελέτη «Υδατικό διαμέρισμα νήσων Αιγαίου». Η εν λόγω υδρογεωλογική μελέτη, με τα συνημμένα υποστηρικτικά τεύχη και χάρτες, αποτελεί το Υπόεργο 7, του έργου «Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας». Το υπόεργο 7 έχει τίτλο «Αξιολόγηση υδατικών πόρων Νήσων Αιγαίου. Στρατηγικά αποθέματα» και εντάχθηκε στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ», με χρηματοδότηση από το Γ'ΚΠΣ. Ο βασικός στόχος του έργου, ήταν ο καθορισμός και οριοθέτηση των υδροσυστημάτων, η αξιολόγηση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών αυτών και η ποσοτική και ποιοτική παρακολούθησή τους.

Όσον αφορά την Νήσο Λέρο, προέκυψε ότι η υδροφορία αναπτύσσεται, κατά κύριο λόγο, στο ρωγματικό σύστημα χαλαζιτών και σχιστολιθικών πετρωμάτων και στα καρστικά υδρογεωλογικά συστήματα. Ό,τι αφορά το ρωγματικό υδροσύστημα Λέρου, εκτιμήθηκε ότι τα διαθέσιμα ετήσια υπόγεια υδατικά αποθέματα δεν υπερβαίνουν τα 500.000m<sup>3</sup>. Ο γενικός υδροχημικός τους τύπος είναι Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-SO<sub>4</sub> έως Na-Cl (υφάλμυρα νερά) και χαρακτηρίζονται ως νερά υψηλού κινδύνου αλατότητας και χαμηλού κινδύνου αλκαλίωσης. Σε ό,τι αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, σε μερικές γεωτρήσεις παρατηρήθηκε η αυξημένη συγκέντρωση χλωριόντων, αφού η υπεράντληση των υδροφορέων κατά τη θερινή περίοδο οδηγεί σε φαινόμενα υφαλμύρωσης.

Επίσης παρατηρήθηκε, σε ορισμένες περιπτώσεις, υπέρβαση της ενδεικτικής και παραμετρικής τιμής του σιδήρου (Fe) και του μαγγανίου (Mn) και τοπικά η τιμή του νικελίου (Ni). Η παρουσία των βαρέων μετάλλων οφείλεται στην ύπαρξη των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του νησιού. Η αυξημένη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων αυτών και ιδιαίτερα η υπέρβαση των παραμετρικών τιμών, σε μερικές περιπτώσεις, καθιστά ακατάλληλη τη χρήση του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

## **2. ΓΕΝΙΚΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ-ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ**

### **2.1 Γεωγραφική θέση της Ν. Λέρου.**

Η Λέρος είναι ένα νησί του Νοτιοανατολικού Αιγαίου και υπάγεται στο νομό Δωδεκανήσου. Ειδικότερα, βρίσκεται ανάμεσα στα νησιά Πάτμο και Λειψούς, προς βορά, και Κάλυμνο (1 ν.μ.) προς νότο. Απέχει απ' τον Πειραιά 179 ν.μ. και από τη Μικρασιατική ακτή 7 ν.μ. Η Λέρος έχει έκταση 54 km<sup>2</sup> και μήκος ακτογραμμής 83km, γεγονός, που δείχνει τον πλούσιο θαλάσσιο διαμελισμό των ακτών της, που σχηματίζουν βαθείς κόλπους και όρμους.

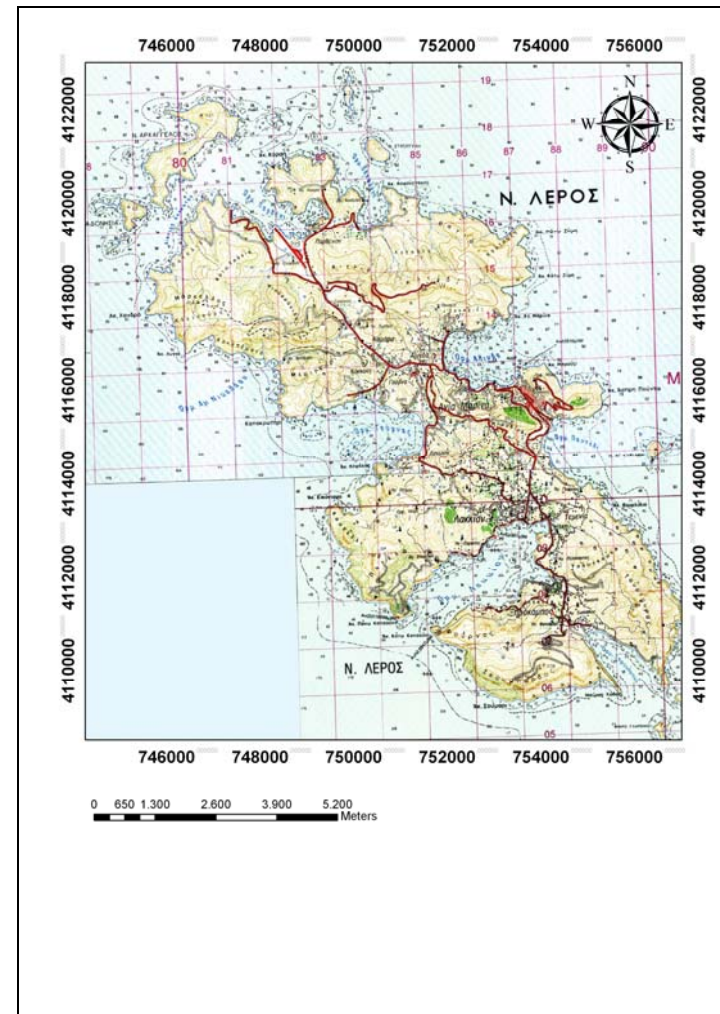
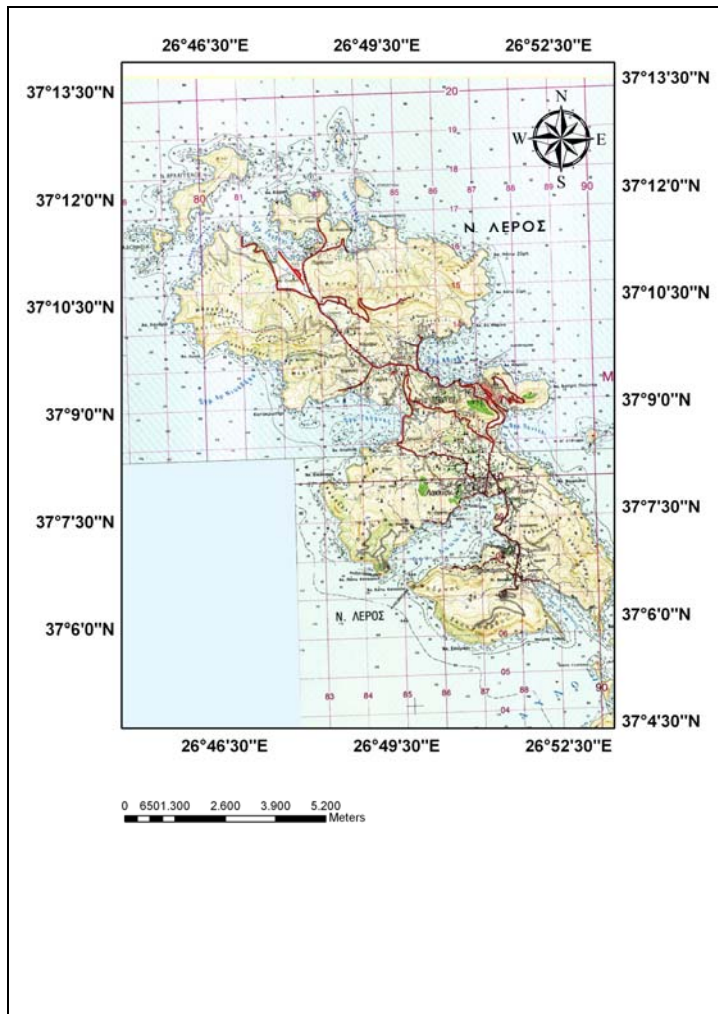
Επιπλέον, η γεωγραφική θέση της Ν. Λέρου με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες, γεωγραφικό πλάτος (φ) και γεωγραφικό μήκος (λ), τοποθετείται από 37° 6' 0'' N έως 37° 12' 0'' N για το γεωγραφικό πλάτος και από 26° 46' 0'' E έως 26° 53' 00'' E για το γεωγραφικό μήκος (Εικ 2.1), ενώ με βάση το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87), το Χ κυμαίνεται από 745000 έως 757000 και το Υ από 4109500 έως 4121000 (Εικ 2.2).

### **2.2 Περιγραφή Δημοτικού διαμερίσματος Λέρου.**

Ο Δήμος Λέρου αποτελεί ένα Δημοτικό Διαμέρισμα, που περιλαμβάνει, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε.: α) τη νήσο Λέρο, β) τις νησίδες Κίναρος, Λέβιθα και Φαρμακονήσι, που έχουν μόνιμο πληθυσμό, γ) τις νησίδες Αρχάγγελος, Βελόνα, Γλάρος, Μαύρα, Μεγάλο Λιβάδι, Πηγανούσα, Πλάκα, Στρογγυλή και Τρυπητή, που δεν έχουν μόνιμο πληθυσμό.

#### **2.2.1. Δημογραφικά χαρακτηριστικά.**

Σύμφωνα με τις απογραφές του πληθυσμού, που πραγματοποιήθηκαν το 1991 και το 2001, ο Δήμος Λέρου έχει 8.061 και 8.207 κατοίκους, αντίστοιχα, ενώ αντιπροσωπεύει το 4.32 % του πληθυσμού του νομού και το 2,71 % του πληθυσμού της Περιφέρειας. Η απογραφή του μόνιμου και πραγματικού πληθυσμού, για το έτος 1991 και 2001, παρουσιάζεται στον πίνακα 1 (Παράρτημα). Η κατανομή του πληθυσμού σε ομοδημότες, ετεροδημότες και αλλοδαπούς, καθώς και συγκριτικά στοιχεία, με τα αντίστοιχα μεγέθη του νομού και της περιφέρειας, εμφανίζονται στον πίνακα 2.1. Το ποσοστό του πληθυσμού των ετεροδημοτών (12,83%) παρουσιάζεται αισθητά κατώτερο απ' το αντίστοιχο του νομού (18,88%) και της περιφέρειας (17%). Κατά την απογραφή του 1991 (πριν από την απομάκρυνση μέρους των ασθενών του Κρατικού Θεραπευτηρίου Λέρου) είχε μεγαλύτερες τιμές. Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κίνηση αλλοδαπών, η οποία σημειώνει αύξηση κατά 1,83% κατά την περίοδο 1991-2001.



Εικόνες 2.1 & 2.2: Οι τοπογραφικοί χάρτες της Ν. Λέρου σε WGS 84 και σε ΕΓΣΑ 87, αντίστοιχα.

### **2.2.2. Τομεακή και κλαδική διάρθρωση της απασχόλησης.**

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία (2001), στην τομεακή διάρθρωση της απασχόλησης, υπερέχει ο τριτογενής τομέας (66,49%), δηλαδή οι υπηρεσίες δημόσιου χαρακτήρα και ο κλάδος του τουρισμού. Ακολουθεί με μικρή συμμετοχή, ο δευτερογενής τομέας (12,98%), θέση την οποία κατέχει κυρίως λόγω της ζωτικότητας του κλάδου των κατασκευών. Ο πρωτογενής τομέας (αλιεία, μελισσοκομία, κτηνοτροφία, γεωργία) εμφανίζεται με πολύ μικρή συμμετοχή (7,21%) και με μεταβαλλόμενη εξέλιξη ως προς τις προηγούμενες δεκαετίες (8,42% το 1981 και 6,34% το 1991) (Πίνακας 2.2). Έτσι λοιπόν, είναι φανερό, ότι η διόγκωση του τριτογενούς τομέα δεν οφείλεται στην ανάπτυξη του τουρισμού, όπως στα περισσότερα νησιά του νομού, στον οποίο το αντίστοιχο μέγεθος είναι 68,04% με τάσεις και προοπτική αύξησης, αλλά στην αυξημένη παροχή υπηρεσιών στο Κρατικό Θεραπευτήριο Λέρου (Κ.Θ.Λ.).

Τα μεγέθη του δευτερογενούς τομέα του νησιού υστερούν σημαντικά ως προς τα αντίστοιχα του νομού (16,20 %), ενώ ο πρωτογενής τομέας υπερέχει ελαφρώς των αντίστοιχων μικρών (5,69 %) μεγεθών του νομού, που παρουσιάζουν τάσεις περαιτέρω μείωσης (Πίνακας 2.2).

Η κλαδική διάρθρωση της απασχόλησης στην περιοχή μελέτης κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, και τα συγκριτικά στοιχεία, σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη στο νομό Δωδεκανήσου και στην Περιφέρεια νοτίου Αιγαίου για το 2001, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3.

Γενικά, ο περισσότερο ανεπτυγμένος κλάδος, και στο νομό και στη περιφέρεια, είναι αυτός, που περιλαμβάνει τις τουριστικές δραστηριότητες, με επόμενους κλάδους αυτόν των λοιπών υπηρεσιών και αυτόν των κατασκευών. Στη Λέρο όμως υπάρχει αντιστροφή στην τάξη των δύο πρώτων κλάδων.

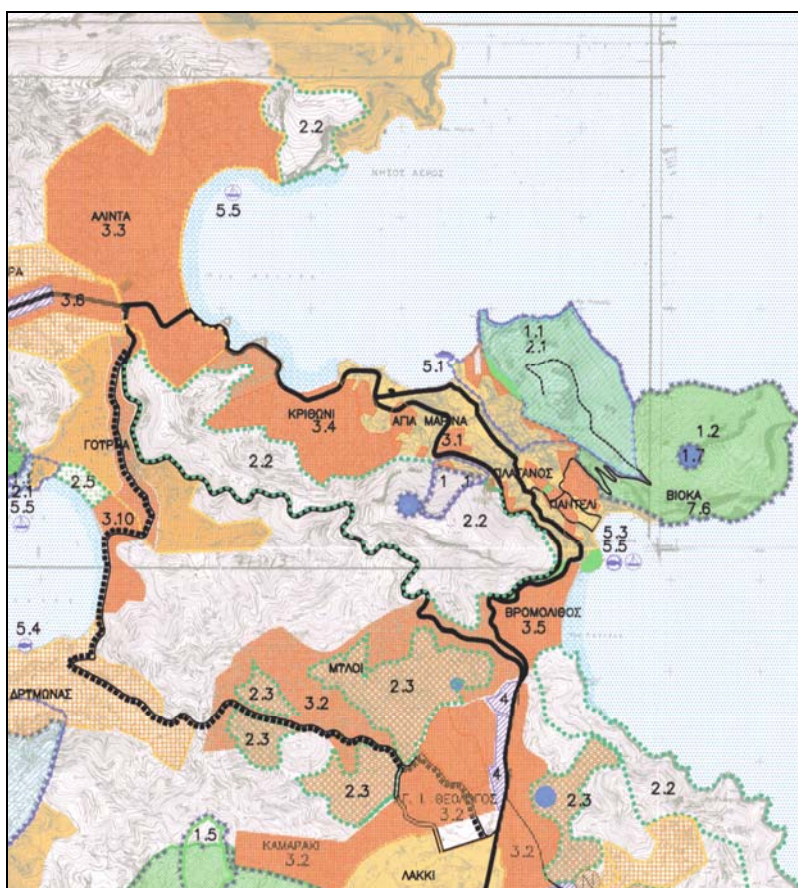
### **2.2.3. Φυσικό περιβάλλον.**

Η Λέρος, σε αντίθεση με τα γειτονικά νησιά, την άνυδρη Πάτμο και την ορεινή και βραχώδη Κάλυμνο, είναι νησί εύφορο, με ήπιο ανάγλυφο εδάφους, και με ακτές, με έντονο και βαθύ διαμελισμό. Έχει εύκρατο κλίμα, που ευνοεί την καλλιέργεια της ελιάς, των κηπευτικών, των δημητριακών, των εσπεριδοειδών και των αμπελιών, αλλά και τροπικών φυτών, φοινίκων και λωτών, που σηματοδοτούν το χαρακτήρα της.

Τα φυσικά τοπία της έχουν ιδιαίτερη φυσιογνωμία, με ποικιλία βλάστησης, πυκνή κυρίως στις κοιλάδες και στις πλαγιές, αλλά και με άδενδρες λοφώδεις εκτάσεις. Γενικά, το βόρειο τμήμα του νησιού είναι πιο πράσινο απ' το κεντρικό και νότιο και γενικότερα, δεν υπάρχουν αποφάσεις χαρακτηρισμού δασών ή δασικών εκτάσεων. Ποικίλα είδη ζώων και πτηνών φιλοξενούνται σε βιότοπους όπως στη Μερικιά, στο Κάστρο Απεττίκι, στην περιοχή Σκουρνού - Παρθένι, στην περιοχή Διαπόρι και στα νησιά Λέβιθα και Αρχάγγελος, που είναι καταφύγια

άγριας ζωής. Τα νησιά Πηγανούσα, Μικρό και Μεγάλο Γλαρονήσι, Λέρικο, είναι καταφύγια πουλιών, και έχουν κηρυχθεί «περιοχές ειδικής προστασίας» (SPA).

Επίσης, με απόφαση του ΥΠ.ΠΟ&Ε (1973), εγκρίθηκε ο «χαρακτηρισμός του συνεχόμενου οικισμού Παντελίου - Πλατάνου - Αγίας Μαρίνας Λέρου, ως τόπου ιστορικού και ιδιαίτερου φυσικού κάλλους», χρίζοντας τον, με «ειδική κρατική προστασία», και που δυστυχώς σήμερα είναι ανενεργή. Στο δίκτυο NATURA 2000 περιλαμβάνονται τα νησιά: Αρχάγγελος, Φαραδονήσια, Λέρικο και Μικρό και Μεγάλο Γλαρονήσι. «Καταφύγια άγριας ζωής» έχουν χαρακτηριστεί οι ακόλουθες περιοχές με τις αντίστοιχες αποφάσεις και είναι: α) Σκουρνού-Παρθένη, β) Κάστρο-Απεττίκι (3146/7-8-2000) (Εικ. 2.3), γ) Διαπόρι (3256/10-9-2002-προς κατάργηση και επαναπροσδιορισμό) και δ) Κουλούκι-Μερικιά-Φυτώριο» (5191/10-9-2002).



**Εικόνα 2.3:** Τμήμα από τον χάρτη Π1, Π2.Χωρική οργάνωση Δήμου - Χρήσεις Γης - Προστασία περιβάλλοντος. Με πράσινες πλάγιες γραμμές συμβολίζεται το καταφύγιο άγριας ζωής Κάστρο Απεττίκι, ενώ με σκούρο πράσινο η ομώνυμη περιοχή Natura.(Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο και Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π, 2008).

**Πίνακας 2.1:** Κατανομή του πραγματικού πληθυσμού του Δ. Δ. Λέρου σε ομοδημότες, ετεροδημότες, και αλλοδαπούς.

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΣ ΣΕ ΟΜΟΔΗΜΟΤΕΣ, ΕΤΕΡΟΔΗΜΟΤΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΔΑΠΟΥΣ								
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ		ΣΥΝΟΛΟ	ΑΠΟΓΡΑΦΕΝΤΕΣ					
			ΟΜΟΔΗΜΟΤΕΣ	%	ΕΤΕΡΟΔΗΜΟΤΕΣ	%	ΑΛΛΟΔΑΠΟΙ	%
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		302,686	220,854	72.96%	51467	17.00%	30365	10.03%
ΝΟΜΟΣ ΑΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ		190,071	135,392	71.23%	35881	18.88%	18798	9.89%
ΔΗΜΟΣ ΛΕΡΟΥ	1991	8,061	6,008	74.53%	1939	24.05%	114	1.41%
	2001	8,207	6,888	83.93%	1053	12.83%	266	3.24%

**Πίνακας 2.2:** Τομεακή διάρθρωση απασχόλησης.

ΤΟΜΕΑΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ										
Τομέας Παραγωγής	ΔΗΜΟΣ ΛΕΡΟΥ						Νομός Δωδεκανήσου 2001		Περιφέρεια Ν. Αιγαίου 2001	
	1981		1991		2001		απασχολούμενοι	%	απασχολούμενοι	%
	απασχολούμενοι	%	απασχολούμενοι	%	απασχολούμενοι	%				
Πρωτογενής	190	8.42%	156	6.34%	220	7.21%	4638	5.69%	9805	7.78%
Δευτερογενής	460	20.38%	299	12.15%	396	12.98%	13205	16.20%	24941	19.80%
Τριτογενής	1390	61.59%	1861	75.65%	2028	66.49%	55459	68.04%	79164	62.84%
Νέοι-δεν δήλωσαν	217	9.61%	144	5.85%	406	13.31%	8211	10.07%	12063	9.58%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2257</b>	<b>100.00%</b>	<b>2460</b>	<b>100.00%</b>	<b>3050</b>	<b>100.00%</b>	<b>81513</b>	<b>100.00%</b>	<b>125973</b>	<b>100.00%</b>

**Πίνακας 2.3:** Κλαδική διάρθρωση απασχόλησης.

<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΣ ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 10 ΕΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΩ ΚΑΤΑ ΟΜΑΔΕΣ ΚΛΑΔΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ - ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>							
ΚΑ	Φύλο / Ομάδες κλάδων οικονομικής δραστηριότητας	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ		ΝΟΜΟΣ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ		ΔΗΜΟΣ ΛΕΡΟΥ	
		ΣΥΝΟΛΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΣΥΝΟΛΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΣΥΝΟΛΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ
A-B	Γεωργία, κτηνοτροφία, θήρα, δασοκομία και αλιεία	9805	7,78%	4638	5,69%	220	7,21%
Γ	Ορυχεία και λατομεία	713	0,57%	117	0,14%	11	0,36%
Δ	Μεταποιητικές βιομηχανίες	7007	5,56%	4215	5,17%	104	3,41%
Ε	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου και νερού	1536	1,22%	890	1,09%	31	1,02%
ΣΤ	Κατασκευές	15685	12,45%	7983	9,79%	250	8,20%
Z-H	Εμπόριο, επισκευές, ξενοδοχεία και εστιατόρια	41154	32,67%	29709	36,45%	475	15,57%
Θ	Μεταφορές, αποθήκευση και επικοινωνίες	8583	6,81%	5612	6,88%	131	4,30%
Ι	Ενδιάμεσοι χρηματοπιστωτικοί οργανισμοί	1754	1,39%	1128	1,38%	115	3,77%
Κ-Π	Λοιπές υπηρεσίες	27673	21,97%	19010	23,32%	1307	42,85%
X1	"Νέοι"	5432	4,31%	3961	4,86%	162	5,31%
X9	Δεν δήλωσαν κλάδο οικονομικής δραστηριότητας.	6631	5,26%	4250	5,21%	244	8,00%
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>125973</b>	<b>100,00%</b>	<b>81513</b>	<b>100,00%</b>	<b>3050</b>	<b>100,00%</b>



#### **2.2.4. Καταγραφή προστατευμένων Πολιτιστικών πόρων.**

Στη Λέρο είναι εμφανή τα ίχνη όλων των περιόδων της ιστορίας της, από την προϊστορική εποχή, μέχρι τα νεότερα χρόνια. Τα σημαντικότερα ιστορικά κατάλοιπα, έχουν καταγραφεί εντός των όρμων Άλινδα - Γούρνα και Αγ. Μαρίνα - Παντέλι και αναφέρονται παρακάτω.

Προϊστορικά κατάλοιπα στην περιοχή Αγίου Κωνσταντίνου και στο Κατακρωτήρι, λείψανα νεολιθικών οικισμών στο Δρυμόνα, αρχιτεκτονικά κατάλοιπα της πρώιμης εποχής του χαλκού στον Άγιο Ισίδωρο και στο Δρυμόνα, Αρχαϊκή ταφή στο Παντέλι, Αρχαίος οικισμός στην Αγία Μαρίνα, Παλαιохριστιανικοί και Βυζαντινοί Ναοί, όλα αυτά είναι ενδεικτικά και σημαντικά ευρήματα, που οδήγησαν τις αρμόδιες αρχαιολογικές υπηρεσίες του ΥΠ.ΠΟ. στην έκδοση της 588/2004 Υπουργικής Απόφασης χαρακτηρισμού αρχαιολογικών περιοχών, για την προστασία τους μέχρι σήμερα.

Επίσης, με Υπουργικές Αποφάσεις, που εκδόθηκαν από το 1955 μέχρι το 1977, είκοσι νεότερα κτίσματα (δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, ανεμόμυλοι και ένας αλευρόμυλος), στην Αγία Μαρίνα, στον Πλάτανο και στα Άλιντα, χαρακτηρίστηκαν Ιστορικά Διατηρητέα Μνημεία και Έργα Τέχνης της νεότερης ιστορίας του νησιού.

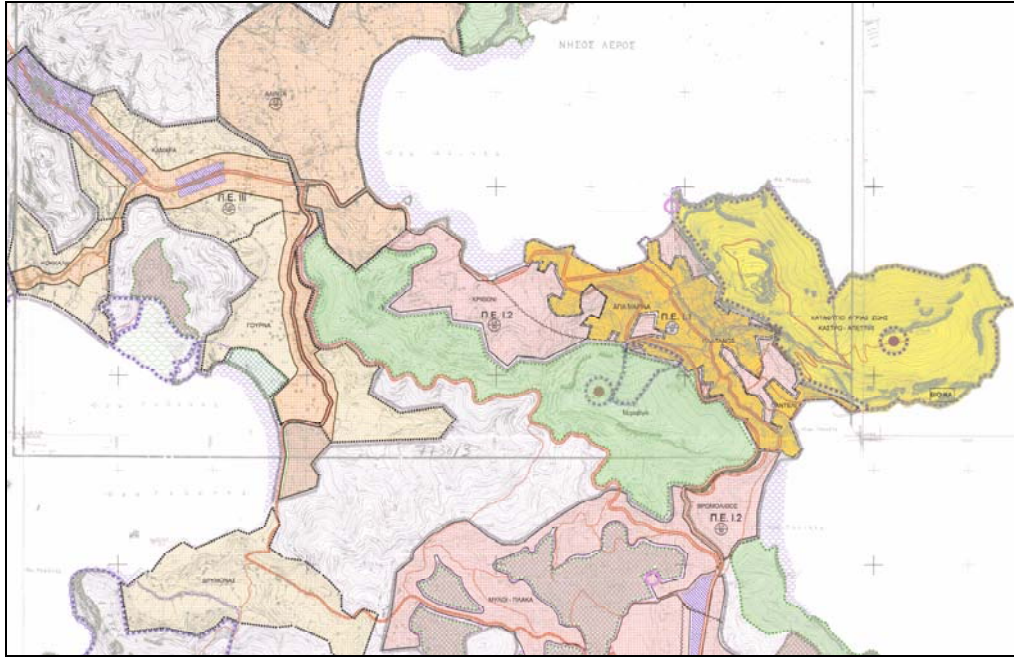
Παράλληλα το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., από 19-10-1978 Π.Δ/μα (ΦΕΚ594Δ' / 13-11-78), με το οποίο χαρακτηρίστηκαν οι παραδοσιακοί οικισμοί σε όλη τη χώρα και επιβλήθηκαν γενικοί όροι και περιορισμοί δόμησης, περιέλαβε και τους οικισμούς Αγία Μαρίνα, Άλιντα και Παντέλι.

### **2.3 Χωροταξική οργάνωση του Δήμου – Χρήσεις γης.**

#### **2.3.1 Υφιστάμενη οικιστική ανάπτυξη.**

Η υφιστάμενη οικιστική ανάπτυξη παρουσιάζει την ακόλουθη εικόνα στην περιοχή μελέτης. Στο κέντρο του νησιού αναπτύσσεται ένας απ' τους δύο ισχυρούς πόλους, που συγκεντρώνει το σύνολο των δημόσιων υπηρεσιών και εξυπηρετήσεων, δηλαδή η Αγία Μαρίνα, η οποία συνδέεται με τον άλλο πόλο (Λακκί - νότιο τμήμα του νησιού), μέσω του κύριου οδικού άξονα του νησιού.

Ο οικισμός Αγία Μαρίνα είναι πρωτεύουσα του Δήμου και περιλαμβάνει τρεις οικιστικές ενότητες-γειτονιές: α) την Αγία Μαρίνα, στη βόρεια παραλία του κεντρικού τμήματος του νησιού, β) τον Πλάτανο, στον αυχένα, μεταξύ του λόφου του Κάστρου και του υψώματος Μεροβίγλι, και γ) το Παντέλι, στο μυχό του ομώνυμου όρμου (Εικ. 2.4). Ο οικισμός Αγία Μαρία έχει ένα αξιόλογο λιμάνι, που χρησιμοποιείται εναλλακτικά, αλλά όχι συχνά, απ' τα επιβατικά πλοία, όταν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την προσέγγιση στο κύριο λιμάνι του νησιού στο Λακκί. Στην παραλιακή ζώνη αναπτύσσονται χρήσεις αναψυχής και επίσης κατά μήκος του κύριου οδικού άξονα και τέλος στο περιορισμένης έκτασης κέντρο.



**Εικόνα 2.4:** Τμήμα από χάρτη Π.3.α. Γενική Πολεοδομική οργάνωση και ρύθμιση των οικιστικών υποδοχέων. Με πορτοκαλί χρώμα ο οικισμός Αγ. Μαρίνα με τρεις οικιστικές γειτονίες, ο οποίος ανήκει σε περιοχή αναθεώρησης ρυμοτομικού σχεδίου.

Γενικά, από άποψη κοινωνικής και διοικητικής υποδομής, έχει το ένα από τα τέσσερα Δημοτικά Σχολεία, δύο Νηπιαγωγεία και Γυμνάσιο, την Δημοτική Επιχείρηση Πολιτισμού, Αρχαιολογικό Μουσείο, που στεγάζεται σε νεοκλασικό διατηρητέο αρχοντικό, ΔΟΥ, Ταχυδρομείο, ΟΤΕ, Τράπεζα, τοπικό ραδιοφωνικό σταθμό και Αστυνομικό τμήμα (Εικ 2.5).

Στον Πλάτανο, περιμετρικά στην πλατεία και στους δρόμους, που καταλήγουν σ' αυτή, και σε μικρότερο βαθμό αναπτύχθηκαν χρήσεις κέντρου γραμμικά κατά μήκος του κεντρικού οδικού άξονα. Στο νεοκλασικό κτίριο στην πλατεία, λειτουργούν οι υπηρεσίες του Δήμου Λέρου. Σε γειτονικά κτίρια στεγάζονται η Δημοτική Βιβλιοθήκη και τα Ιστορικά Αρχεία της Λέρου. Στον κύριο οδικό άξονα, προς Αγία Μαρίνα, βρίσκεται το κτίριο του ΟΤΕ. Τα εμπορικά καταστήματα καλύπτουν τη μόνιμη και εποχιακή ζήτηση ειδών διατροφής και τουριστικών εξυπηρετήσεων, και απευθύνονται στο σύνολο των κατοίκων και επισκεπτών του νησιού.

Το παραλιακό Παντέλι δεν έχει διαμορφωμένη περιοχή κεντρικών λειτουργιών, αλλά κατά μήκος της ελκυστικής παραλίας αναπτύχθηκαν χρήσεις εστίασης - αναψυχής.

Στα δύο άκρα του οικισμού (Αγ. Μαρίνα), και σε παραθαλάσσιες εκτάσεις, όπου υπήρχαν διάσπαρτα κτίρια κατοικίας, αναπτύχθηκαν, χωρίς ν' αποτελούν συγκροτημένους οικισμούς, δύο οικιστικές μονάδες, με χρήσεις κυρίως τουριστικών εγκαταστάσεων και παραθεριστικής κατοικίας, το Κριθώνι και ο Βρομόλιθος, που δεν έχουν περιληφθεί στο όριο του εγκεκριμένου σχεδίου, μολοντί αποτελούν περιστατικές περιοχές της πρωτεύουσας.

Σχεδόν σε επαφή με το Κριθώνι, βρίσκεται ο οικισμός Άλιντα, που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της τουριστικής κίνησης. Στα δυτικά του, αναπτύσσονται οι οικισμοί Καμάρα, (με όρια εφραπτόμενα σε εκείνα των Αλίντων), Κόκκαλη και Γούρνα, των οποίων τα εγκεκριμένα όρια συνέχονται έτσι, ώστε οι οικισμοί αυτοί αποτελούν ένα ενιαίο οικιστικό σύνολο του εξωαστικού χώρου, χωρίς λειτουργίες κέντρου και κοινωνικές εξυπηρετήσεις, εξαρτημένο από τα δύο κέντρα (Λακκί - Αγ. Μαρίνα) του νησιού.

### **2.3.2. Δίκτυα υποδομής.**

#### **2.3.2.1. Μεταφορικό δίκτυο.**

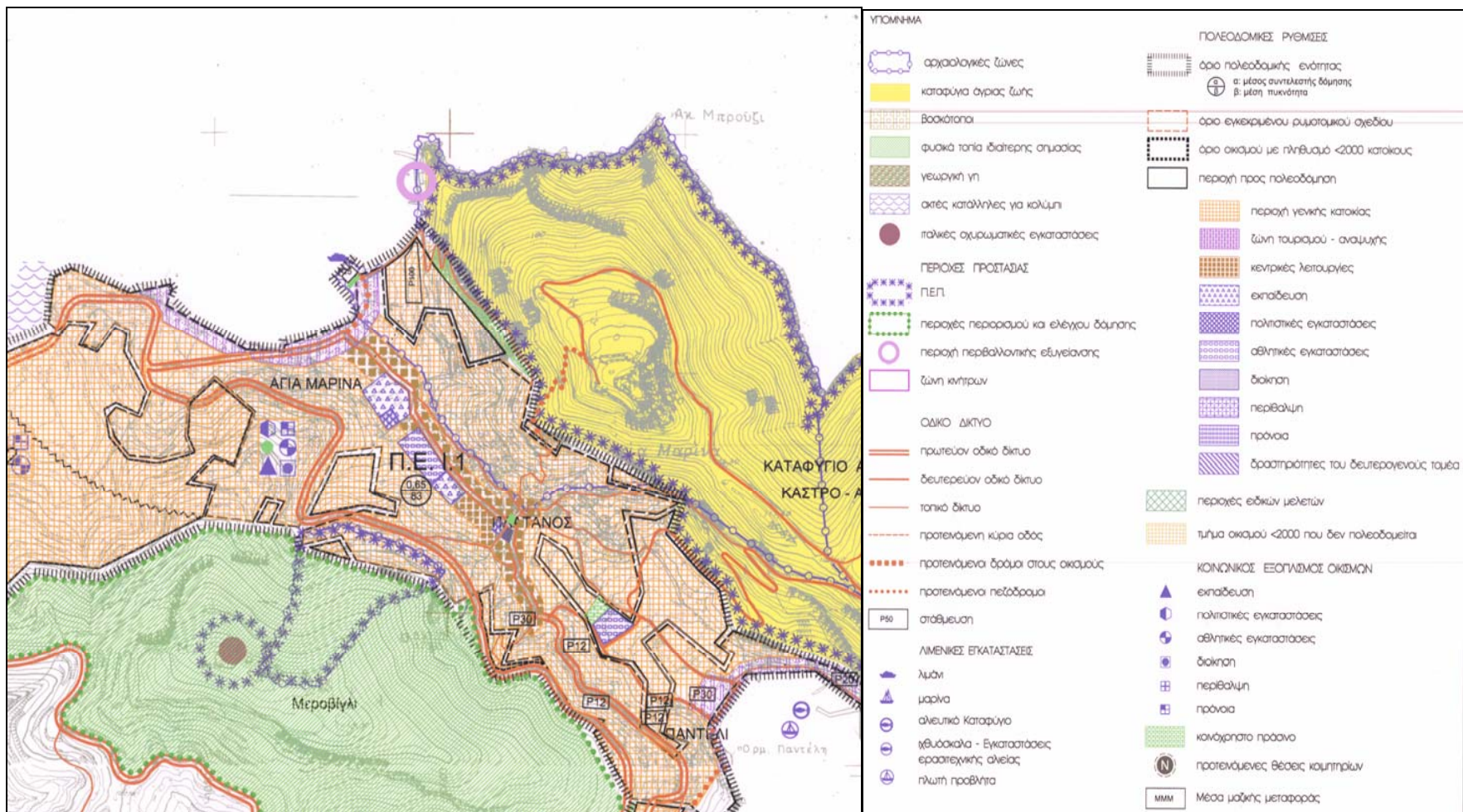
##### **Θαλάσσια σύνδεση.**

Η Λέρος συνδέεται θαλάσσια: α) με τον Πειραιά και με τα Δωδεκάνησα, μέσω της γραμμής Πειραιάς - Πάτμος - Λέρος - Κάλυμνος - Κως - Ρόδος και β) με την Πάτμο - Λειψούς - Αγαθονήσι, τη Σάμο, τη Νίσυρο, την Τήλο, την Ικαρία (μία φορά την εβδομάδα) και τους Φούρνους. Κατά τη θερινή περίοδο τουριστικής κίνησης υπάρχει σύνδεση με Λειψούς με flying dolphins και catamaran.

##### **Οδικό δίκτυο.**

Το κύριο οδικό δίκτυο αποτελείται από τις Επαρχιακές οδούς, που χαρακτηρίστηκαν με το Β.Δ/μα 3155 ΦΕΚ 47 Α' /8-2-1956, και είναι:

α) Ξηρόκαμπος - Λακκί - Πλάτανος - Αγ. Μαρίνα - Άλιντα - Καμάρα - Σμαλού - Παρθένι, όπου μόνο το τμήμα Πλάτανος - Αγ. Μαρίνα - Άλιντα - Καμάρα - Σμαλού, βρίσκεται εντός περιοχής μελέτης (Εικ 2.5), β) από διακλάδωσης στο χλμ. θ. 0+700 της υπ' αριθ. 1 επαρχιακής οδού προς Άγιον Γεώργιον (Τεχνικές σχολές), γ) από διακλάδωσης στο χλμ 3+100 της υπ' αριθ. 1 επαρχιακής οδού στη Γούρνα μέχρι να συναντήσει αυτή την επαρχιακή οδό και δ) από διακλάδωσης στο χλμ 3+800 της υπ' αριθ. 1 επαρχιακής οδού μέχρι να συναντήσει αυτή την επαρχιακή οδό στη θέση Άλιντα. Οι κυριότερες χαράξεις είχαν γίνει απ' τους Ιταλούς με στόχο την προσπέλαση των διάσπαρτων στρατιωτικών εγκαταστάσεών τους. Το τοπικό οδικό δίκτυο είναι εκτεταμένο, ασφαλτοστρωμένο, στο μεγαλύτερο τμήμα του και καλύπτει όλους τους οικισμούς.



Εικόνα 2.5: Τμήμα από τον Χάρτη Π.3.β. Πολεοδομική Οργάνωση-Γενικές Χρήσεις Γης (Γ.Π.Σ και Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π, 2008).

### **Αεροπορική σύνδεση.**

Το αεροδρόμιο του νησιού βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του, κοντά στο Παρθένι, και η οδική εξυπηρέτησή του διενεργείται μέσω του βασικού οδικού δικτύου, που εφάπτεται στις εγκαταστάσεις του. Τα χαρακτηριστικά του αεροδρομίου επιτρέπουν την προσγείωση μικρών σκαφών τύπου ATR-43, χωρητικότητας 50 ατόμων, και DASH 8 χωρητικότητας 38 ατόμων.

Εκτός από την απευθείας σύνδεση του νησιού, με το αεροδρόμιο της Αθήνας, εκτελείται και ένα δρομολόγιο διερχόμενης πτήσης, η οποία έχει σταθμό αναχώρησης το αεροδρόμιο Ρόδου, και εξυπηρετεί Κω, Λέρο και Αστυπάλαια, με επιστροφή απ' τα ίδια νησιά στη Ρόδο. Τους θερινούς μήνες το δρομολόγιο αυτό εκτελείται τρεις φορές την εβδομάδα, και, τον υπόλοιπο χρόνο, δύο φορές την εβδομάδα.

### **3.3.2.2 Ενεργειακό δίκτυο – Τηλεπικοινωνίες.**

ΔΕΗ: Η υψηλή τάση έρχεται από την Κάλυμνο και φεύγει προς Λειψούς. Είναι πλήρες υπέργειο δίκτυο χωρίς ελλείψεις. Η υπογείωση του έχει μεγάλο κόστος.

ΟΤΕ: Πλήρες δίκτυο υπόγειο, πρόσφατα ανακαινισμένο, χωρίς ελλείψεις.

### **3.3.2.3 Ύδρευση, αποχέτευση, απορρίμματα.**

#### **Ύδρευση.**

Όλοι οι οικισμοί καλύπτονται απ' το δίκτυο ύδρευσης, το οποίο τροφοδοτείται από υδρογεωτρήσεις και πηγές. Ένα τμήμα του βρίσκεται εντός του κεντρικού τμήματος του νησιού και παρουσιάζεται στον πίνακα 2.4. Η ποιότητα του νερού είναι ικανοποιητική, από χημική άποψη. Διαφαίνεται όμως κίνδυνος μόλυνσης των υπόγειων αποθεμάτων, που οφείλεται στην διεύδυση της θάλασσας, λόγω υπεράντλησης, και στην εκτεταμένη χρησιμοποίηση απορροφητικών βόθρων. Η κατανάλωση εμφιαλωμένου πόσιμου νερού είναι γενικευμένη και επιβεβλημένη.

#### **Αποχέτευση - Απορρίμματα.**

Βρίσκεται σε εξέλιξη ολοκληρωμένο δίκτυο αποχέτευσης των οικισμών του Δήμου και λειτουργίας βιολογικού καθαρισμού, οι εγκαταστάσεις του οποίου βρίσκονται ανατολικά από την περιοχή Παντέλι. Σήμερα όλοι οι οικισμοί, με εξαίρεση τμήματα της Αγίας Μαρίνας και του Λακκιού, εξυπηρετούνται με βόθρους. Στην ανατολική πλευρά του λόφου Τσίγκουνα υπάρχει χώρος απόθεσης απορριμμάτων. Η αποκομιδή γίνεται με τα απορριμματοφόρα οχήματα του Δήμου.

**Πίνακας 2.4:** Δίκτυο ύδρευσης (19 σημεία) εντός περιοχής μελέτης. (ΔΕΥΑΛ).

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΚΩΔ.	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΟΣ - ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ
1	ΠΗΓΗ	ΠΑΡΘΕΝΙ	ΡΗΝΑ	SO1	1	1.2
2	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΣΜΑΛΟΥ	Δ3	Δ02	63	25
3	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΣΜΑΛΟΥ	Δ4	Δ03	62	25
4	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΜΑΛΟΥ	ΓΕΩΤ. ΣΜΑΛ	Γ07	46	105
5	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΑΛΙΝΤΑ	ΔΕΞΑΜ. ΑΛΙΝΤΩΝ	Δ04	70	750
6	ΠΗΓΑΔΙ	ΑΛΙΝΤΑ	ΚΟΥΛΙΑΝΟΥ	Π02	22	12
7	ΠΗΓΑΔΙ	ΚΟΚΚΑΛΗ	ΚΟΚΚΑΛΗ	Π03	10	12
8	ΠΗΓΑΔΙ	ΓΟΥΡΝΑ	ΚΑΡΑΝΙΚΟΛΑ	Π05	10	10
9	ΜΕΤΑΓΓΙΣΗ	ΚΡΙΘΩΝΙ	ΠΡΟΣΚΟΠΙΣΜΟΣ	MD2	20	
10	ΠΙΕΣΤΙΚΟ	ΠΑΤΕΛΟ	ΠΑΤΕΛΟ	MD3	55	
11	ΠΗΓΗ - ΑΝΤΛΙΟΣ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΠΑΛΙΑΣΚΛΟΥΠΙ	S02	70	
12	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ	Δ05	72	160
13	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΑΝΤΕΛΙ	ΠΑΝΤΕΛΙ	Γ08	10	30
14	ΒΙΟΚΑ	ΠΑΝΤΕΛΙ	ΒΙΟΚΑ	B01	28	
15	ΚΕΝ.ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΜΕΡΟΒΙΓΛΙ	Δ10	Δ06	132	800
16	ΜΕΤΑΓΓΙΣΗ	ΡΑΧΗ	ΜΕΤΑΓΓ. ΡΑΧΕΣ	MD4	45	
17	ΠΗΓΑΔΙ	ΓΟΥΡΝΑ	ΓΟΥΡΝΑΣ	Π06	8	
18	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΟΝΗ	ΜΟΝΗ	Γ14	92	85
19	ΠΙΕΣΤΙΚΟ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	MD7	68	

### 3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η νήσος Λέρος βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του Αιγαίου πελάγους, μεταξύ της νήσου Καλύμνου, της νήσου Πάτμου και των Λειψών. Η νήσος Λέρος έχει έκταση 54km<sup>2</sup> και μήκος ακτογραμμής 83km. Πρόκειται για ένα ημιορεινό νησί, με υψηλότερη κορυφή το όρος Σκουμπάρδος (328m), το οποίο βρίσκεται στο νότιο τμήμα του.

Το σχήμα της είναι σχετικά επίμηκες, με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ. Μπορούν να διακριθούν τρία διαφορετικά τμήματα, επίσης επιμήκους σχήματος, με αντιδιαμετρική όμως διεύθυνση (ΔΝΔ-ΑΒΑ). Τα τμήματα αυτά ενώνονται με δύο στενές μεταβατικές ζώνες, οι οποίες τοποθετούνται μεταξύ των όρμων Γούρνας - Αλίντων και Παντελίου - Λακκίου.

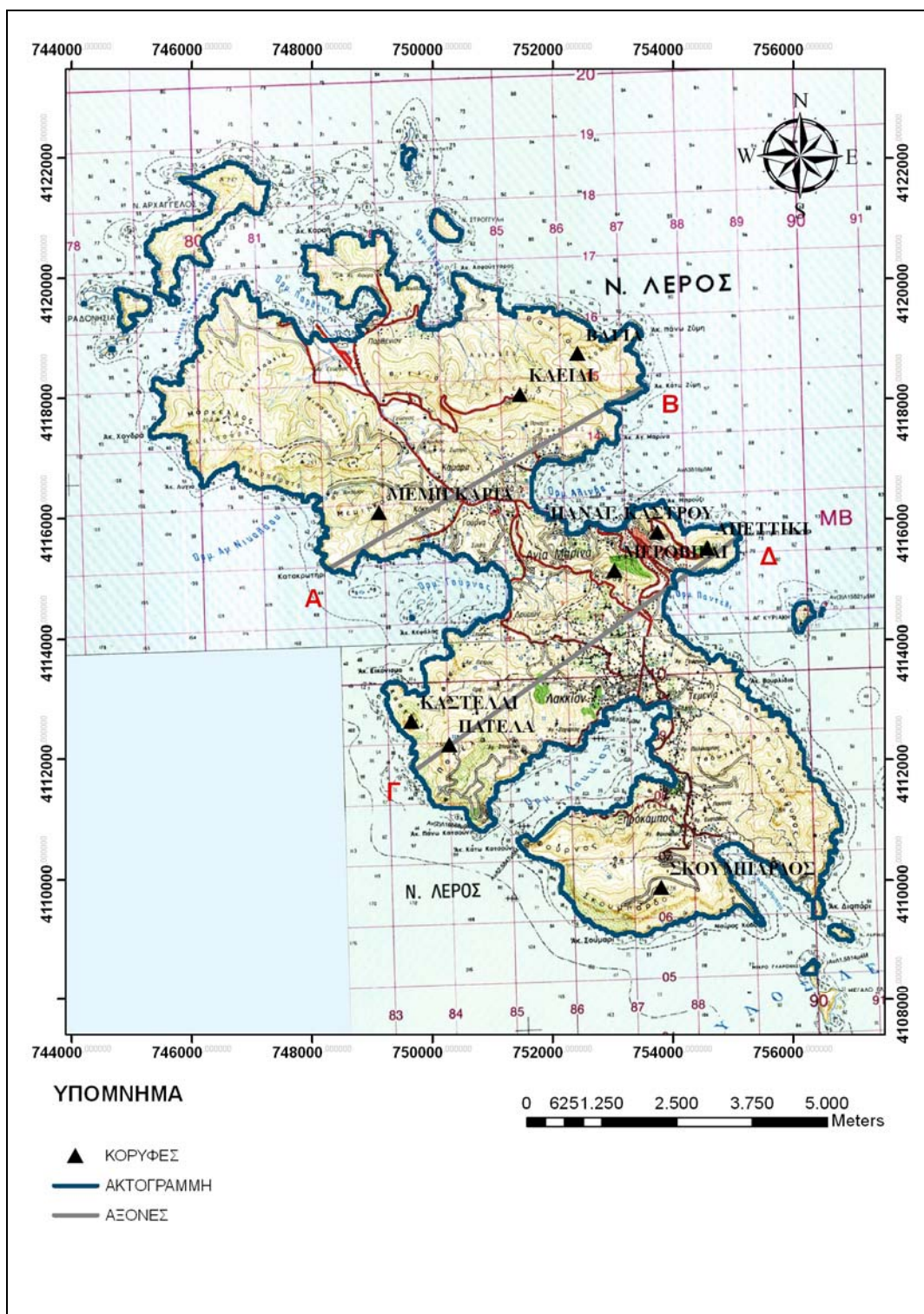
Η Λέρος μπορεί να χωριστεί σε τρία διαφορετικά τμήματα, το βόρειο, το κεντρικό και το νότιο, με βάση δύο νοητούς άξονες. Ο πρώτος άξονας (Α-Β), ενώνει το ακρωτήριο Κατακρωτήρι, το οποίο τοποθετείται στο βορειοδυτικό άκρο του όρμου Γούρνας, με το ακρωτήριο Κάτω Ζύμη, το οποίο τοποθετείται στα βορειοανατολικά του όρμου Αλίντων και χωρίζει το βόρειο τμήμα του νησιού από το κεντρικό. Ο δεύτερος άξονας (Γ-Δ), ενώνει την κορυφή Πατέλα (250m) με την κορυφή Απεττίκι (174m) και με το ακρωτήριο Άσπρη Πούντα, ο οποίος χωρίζει το κεντρικό τμήμα του νησιού από το νότιο (Εικ 3.1).

Όμως, η περιοχή, που θα εξεταστεί από γεωμορφολογική άποψη, ανήκει στο κεντρικό τμήμα του νησιού και οριοθετείται κυρίως από τους δύο υδροκρίτες (βόρειο και κεντρικό). Αυτή επίσης συμπεριλαμβάνει και την περιοχή Παντέλι, αν και βρίσκεται εκτός από τον κεντρικό υδροκρίτη (Εικ 3.2). Επίσης, η γεωμορφολογική ανάλυση θα πραγματοποιηθεί, με βάση τις επιμέρους λεκάνες απορροής, που αναπτύσσουν υδρογραφικό δίκτυο μεγαλύτερο της 1<sup>ης</sup> τάξης και τοποθετούνται σε κάθε περιοχή (οικισμός), του κεντρικού τμήματος του νησιού. Επιπλέον, αυτές έχουν αριθμηθεί απ' το ένα (1) έως το δεκατρία (13), διότι δεν υπάρχουν ονομασίες παραποτάμων πάνω στον τοπογραφικό χάρτη.

Στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, οι υψηλότερες κορυφές είναι το Κλειδί (321m), η Βαγιά (264m) και η Μεμιγκαρία (177m), απ' τις οποίες περνάει ο βόρειος υδροκρίτης και αντιπροσωπεύουν δύο ορεινούς όγκους, διαφορετικής λιθολογικής σύστασης, αντίστοιχα. (Εικ. 3.2). Ο πρώτος (Κλειδί, Βαγιά) δομείται από ασβεστόλιθους Κατώτερης - Μέσης Ιουρασικής ηλικίας (*Ji-m.K*), τα οποία δεν αποσαθρώνονται εύκολα. Ο δεύτερος ορεινός όγκος δομείται κυρίως από τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), τα οποία δείχνουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα στην αποσάθρωση. Επίσης, οι δύο ορεινοί όγκοι χαρακτηρίζονται από έντονο ανάγλυφο, μεγάλες κλίσεις και με κρημνώδεις ακτές.

Στο κεντρικό τμήμα του νησιού, οι υψηλότερες κορυφές είναι η Πατέλα (250m), το Καστέλλι (148m), το Μεροβίγλι (197m), η Παναγία του Κάστρου (160m) και το Απεττίκι

(174m), απ' τις οποίες περνάει ο κεντρικός υδροκρίτης (Εικ 3.2). Το ανάγλυφο στο συγκεκριμένο τμήμα εμφανίζεται σχετικά έντονο και ιδιαίτερα στην περιοχή του ορεινού όγκου Καστέλλι, ο οποίος δομείται από τα κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα (C-P.K).



**Εικόνα 3.1:** Ο τοπογραφικός χάρτης της Ν. Λέρου και ο χωρισμός της, σε βόρειο, κεντρικό και νότιο τμήμα, με βάση τους δύο νοητούς άξονες Α-Β & Γ-Δ..





### 3.1 Περιγραφή ανάγλυφου.

#### Περιοχή Άλιντα - Παναγίες.

Η περιοχή Άλιντα χαρακτηρίζεται από τρεις λεκάνες απορροής (7, 8, 9) (Εικ. 3.4), οι οποίες τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη. Η συνολική τους έκταση είναι 1,74Km<sup>2</sup> και η περίμετρος τους είναι 5Km, 3,7Km και 4,3Km, αντίστοιχα (Πίνακας 3.1). Αυτές καλύπτουν όλη σχεδόν την περιοχή και αποτελούν τα βόρεια περιθώρια της. Η υψηλότερη κορυφή είναι το Κλειδί (321m), με κάποιους χαμηλότερους λόφους στα δυτικά και νότια όρια της περιοχής, οι οποίοι δεν ξεπερνούν τα 40m υψόμετρο.

Επίσης, σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση του υψομέτρου, που πραγματοποιήθηκε στις τρεις λεκάνες απορροής, το μέγιστο και μέσο υψόμετρο τους παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 3.2 και στην εικόνα 3.5 (Λεκάνες 7, 8, 9).

Το ανάγλυφο είναι σχεδόν επίπεδο στην παραλιακή ζώνη των λεκανών απορροής (κλίσεις 1°-2°), το οποίο όμως γίνεται έντονο, όσο πλησιάζουμε στο κέντρο τους, με κλίσεις που φθάνουν τις 15° - 18°. Το ανάγλυφο γίνεται εντονότερο, καθώς πλησιάζουμε τον υδροκρίτη των λεκανών απορροής (Πίνακας 3.3, Εικ 3.6).

**Πίνακας 3.1:** Τιμές περιμέτρου και εμβαδού των λεκανών απορροής 7, 8, 9.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ (Km)	ΕΚΤΑΣΗ (Km <sup>2</sup> )
7	5	0,77
8	3,7	0,37
9	4,3	0,6
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		1,74

**Πίνακας 3.2:** Τιμές μέγιστου και μέσου υψομέτρου των λεκανών απορροής 7, 8, 9.

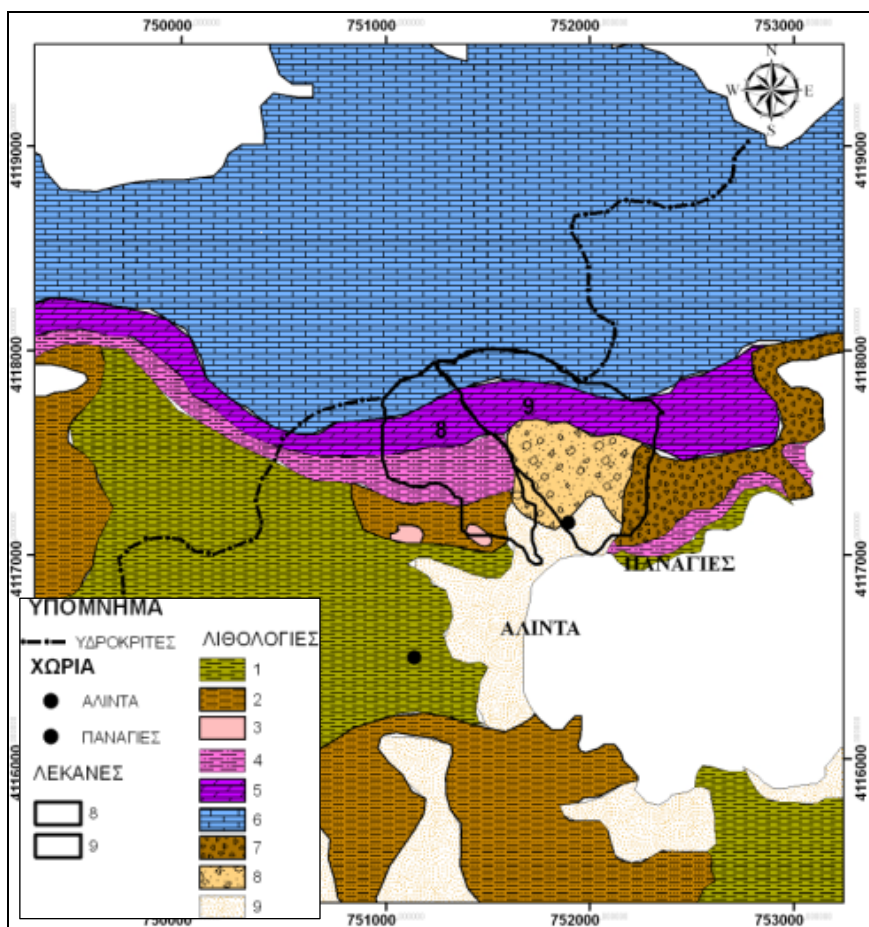
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
7	263	94
8	282	115
9	314	116,5

**Πίνακας 3.3:** Τιμές μέγιστης και μέσης κλίσης των λεκανών απορροής 7, 8, 9.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ
7	33,3	14,9
8	42,3	17,2
9	50,3	18

Γενικά, λόγω της σχετικά αργής δράσης των μηχανισμών αποσάθρωσης, ο δραστηκότερος παράγοντας μορφοποίησης ανάγλυφου είναι η επιφανειακή απορροή, η οποία, στα τμήματα των λεκανών, με το έντονο ανάγλυφο, έχει διαβρωτική δράση, ενώ στις περιοχές με το ομαλό ανάγλυφο αποθετική, σχηματίζοντας πεδία αλλουβιακών αποθέσεων. Επίσης οι γεωμορφές, που οφείλουν τη δημιουργία τους στη χημική και μηχανική αποσάθρωση είναι κυρίως τα

διάσπαρτα καρστικά έγκοιλα μικρού μεγέθους στα ανθρακικά πετρώματα και ένας σύγχρονος κώνος κορημάτων, στο κάταντες τμήμα, της λεκάνης απορροής 9 (Περιοχή Παναγίες, Εικ. 3.3).



**Εικόνα 3.3:** Τμήμα γεωλογικού χάρτη, με υπέρθεση τις λεκάνες απορροής 8 και 9. Όπου, 1: Μεταμορφωμένα πετρώματα βαρίσκιου υποβάθρου (σχιστόλιθοι), 2: Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (μεταπηλίτες, μεταψαμίτες, φυλλίτες, χαλαζίτες), 3: Κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα, 4: Κλαστικός σχηματισμός με ανθρακικές ενστρώσεις, 5: Δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, 6: Ασβεστόλιθοι, 7: Παλαιά συνεκτικά κορήματα, 8: Κώνοι κορημάτων, 9: Αλλουβιακές αποθέσεις. Ψηφιοποιημένο τμήμα από γεωλογικό φύλλο του ΙΓΜΕ, Γερολυμάτος και Σταυρόπουλος, 1999.

### **Περιοχή Καμάρα.**

Η περιοχή Καμάρα αποτελεί μία εσωτερική κοιλάδα, επιμήκους σχήματος, με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Εικ. 3.4, κόκκινες διακεκομμένες γραμμές). Ο σχηματισμός της οφείλεται αφ' ενός στην τεκτονοστρωματογραφική δομή της και αφ' ετέρου στην διαβρωτική δράση των διερχόμενων κλάδων απορροής. Περιμετρικά της περιοχής εντοπίζονται ένας πρόβουνος της Λαγκάδας στο βόρειο περιθώριο της και μία λοφώδη σειρά στο νότιο, η οποία διακόπτεται από

δύο κοιλάδες (λεκάνες απορροής). Η κάθε μία απ' αυτές έχει κατάληξη στην παραλιακή ζώνη του οικισμού Κόκκαλη και στον οικισμό Γούρνα, αντίστοιχα (Βλαχόπουλος, 2008).

Η περιοχή Καμάρα αντιπροσωπεύεται από τις λεκάνες απορροής 2 και 3 (Εικ. 3.4), που όμως, μόνο τα ανάντη τμήματα τους τοποθετούνται στην περιοχή. Το μέγιστο υψόμετρο, που παρουσιάζει η κάθε μία λεκάνη απορροής είναι 174m και 98m, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 63m και 32m, αντίστοιχα (Εικ. 3.5 - Λεκάνες 2 και 3). Επίσης, η έκταση, που καλύπτουν είναι 1,76Km<sup>2</sup>, ενώ η περίμετρος της κάθε μία λεκάνης απορροής είναι 5,9Km και 5,2Km, αντίστοιχα (Πίνακας 3.4).

**Πίνακας 3.4:** Τιμές περιμέτρου και εμβαδού των λεκανών απορροής 2 & 3.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ (Km)	ΕΚΤΑΣΗ (Km <sup>2</sup> )
2	5,9	0,96
3	5,2	0,8
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		1,76

Το ανάγλυφο είναι ομαλό στην κεντρική ζώνη της εσωτερικής κοιλάδας, με κλίσεις από 2° έως 8°, ενώ στα εξωτερικά περιθώρια (βορειοανατολικά και βορειοδυτικά) γίνεται εντονότερο, με κλίσεις 14<sup>0</sup>-27<sup>0</sup>, αλλά και στην νότια πλευρά επίσης. Ακόμα, η στατιστική ανάλυση της μέγιστης και της μέσης κλίσης των λεκανών απορροής (2 & 3), παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. (Πίνακας 3.5, Εικ. 3.6-Λεκάνες 2, 3).

**Πίνακας 3.5:** Τιμές μέγιστης και μέσης κλίσης των λεκανών απορροής 2 & 3.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ
2	24,5	11,3
3	22,9	8,2

### Περιοχή Κόκκαλη.

Η περιοχή Κόκκαλη περιβάλλεται από λόφους στα δυτικά, βόρεια και ανατολικά όρια της και χαρακτηρίζεται από τις λεκάνες απορροής 1 και 2 (Εικ.3.4), όπου από την δεύτερη, μόνο ο κλάδος της 3<sup>ης</sup> τάξης τοποθετείται στην περιοχή και έχει ασφαλτοστρωθεί τμηματικά στη διαδρομή του. Η έκταση, που καλύπτει η λεκάνη απορροής 1 είναι 0,55Km<sup>2</sup> και η περίμετρος της 3,9Km.

Τα μεγαλύτερο υψόμετρο, σύμφωνα με την εικόνα 3.5 και την στατιστική ανάλυση, που έχει υπολογιστεί στην λεκάνη απορροής 1, είναι 162m, ενώ το μέσο υψόμετρο έχει τιμή 74,5m. Το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής 1 είναι επίπεδο στο παράκτιο τμήμα της (κλίσεις 1°-3°), το οποίο όμως γίνεται εντονότερο, με μία μέση τιμή της κλίσης, που φθάνει τις 13° στα βόρεια περιθώρια της και με μια μέγιστη τιμή της κλίσης 23,5<sup>0</sup> (Εικ. 3.6 - Λεκάνη απορροής 1).

### **Περιοχή Γούρνα.**

Η περιοχή Γούρνα είναι μια παράκτια περιοχή, η οποία καλύπτει όλο σχεδόν τον ομώνυμο όρμο. Αυτή περιβάλλεται από τρεις λοφώδεις ράχες: α) μία με διεύθυνση Β-Ν, με υψόμετρο που δεν ξεπερνά τα 70m, η οποία τοποθετείται στα δυτικά και ανατολικά περιθώρια της λεκάνης απορροής 3, β) μία στα ανατολικά όρια της υδρολογικής λεκάνης 4 με μέγιστο απόλυτο υψόμετρο 114m και γ) μία στα νοτιοδυτικά περιθώρια της λεκάνης απορροής 4 (Εικ. 3.4 - Λεκάνη 4, πορτοκαλί διακεκομμένες γραμμές). Επίσης, η λεκάνη απορροής 4 καλύπτει μια έκταση 0,97Km<sup>2</sup> και έχει περίμετρο 5,8Km. Το μέγιστο υψόμετρο της είναι 167m και το μέσο υψόμετρο 63m (Εικ. 3.5).

Το ανάγλυφο είναι επίπεδο στην παραλιακή ζώνη (κλίσεις 1°-2°), με εξαίρεση τις ανατολικές και τις δυτικές παρυφές της περιοχής, όπου οι εδαφικές κλίσεις φθάνουν τις 21° - 27°. Ειδικότερα, η λεκάνη απορροής 4 εμφανίζει μια μέγιστη κλίση 26,2<sup>0</sup> και μια μέση τιμή 12,8<sup>0</sup> (Εικ. 3.6).

### **Περιοχή Δρυμόνα.**

Η περιοχή Δρυμόνα βρίσκεται στο νότιο άκρο του όρμου της Γούρνας και χαρακτηρίζεται από την λεκάνη απορροής 6, η οποία καλύπτει μια έκταση 0,77Km<sup>2</sup> και έχει περίμετρο 5,2Km (Εικ. 3.4). Επίσης, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 68m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο 139m (Εικ 3.5 - Λεκάνη 6).

Το ανάγλυφο είναι επίπεδο (κλίσεις 2° - 8°) στην παραλιακή ζώνη και στις νότιες περιοχές της λεκάνης απορροής, από όπου διέρχεται κλάδος επιφανειακής απορροής 2<sup>ης</sup> τάξης,. Επίσης, σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση της, εμφανίζει έντονο ανάγλυφο, με μέση τιμή της κλίσης 13<sup>0</sup> και ένα πολύ έντονο ανάγλυφο, με μέγιστη τιμή της κλίσης 27<sup>0</sup>. Η μέση τιμή των κλίσεων εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, ενώ οι μέγιστες τιμές στις νότιες παρυφές της λεκάνης (Εικ. 3.6 - Λεκάνη 6). Γενικά, η περιοχή αποτελείται από ένα κύριο αλλουβιακό πεδίο απόθεσης υλικού στα νότια και ένα δεύτερο στα βόρεια της παραλιακής ζώνης.

### **Περιοχή Αγ. Πέτρος.**

Η περιοχή Αγ. Πέτρος αντιπροσωπεύεται από την λεκάνη απορροής 5, η οποία καλύπτει μια περιοχή 0,95Km<sup>2</sup> και έχει περίμετρο 5,5Km (Εικ. 3.4). Η λεκάνη απορροής έχει ένα μέγιστο υψόμετρο 238m και ένα μέσο υψόμετρο 110 (Εικ 3.5 - Λεκάνη 5), όπου οι τιμές του μέσου υψομέτρου εμφανίζονται στο κέντρο της λεκάνης, ενώ οι μέγιστες τιμές υψομέτρου, στις νοτιοδυτικές παρυφές της λεκάνης, δηλαδή στους πρόποδες του βουνού Πατέλα.

Το ανάγλυφο της λεκάνης εμφανίζει τιμές από 2<sup>0</sup>-8<sup>0</sup> κατά την έξοδο του κλάδου 2<sup>ης</sup> τάξης, αλλά και στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης. Η στατιστική ανάλυση των κλίσεων έδειξε, ότι οι μέγιστες τιμές (38,6<sup>0</sup>) εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, κατά την

έξοδο του υδρογραφικού δικτύου, και στις νοτιοδυτικές παρυφές της λεκάνης Οι μέσες τιμές ( $13^{\circ}$ ) καλύπτουν το κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής (Εικ 3.6).

### Περιοχή Κριθώνι.

Η περιοχή Κριθώνι περιβάλλεται από λοφώδεις ράχες ημισεληνοειδούς σχήματος και διαχωρίζεται σε δύο λεκάνες απορροής (10, 11)(Εικ. 3.4). Οι δύο λεκάνες καλύπτουν μία έκταση  $0,42\text{Km}^2$  και η κάθε μία λεκάνη έχει περίμετρο  $2,3\text{Km}$  και  $2,6\text{Km}$ , αντίστοιχα. Επίσης, το μέγιστο και μέσο υψόμετρο των λεκανών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα, όπου τα μεγαλύτερα υψόμετρα βρίσκονται στις νότιες παρυφές των λεκανών, ενώ τα μέσα υψόμετρα στο κέντρο των λεκανών (Εικ 3.5 - Λεκάνες 10, 11).

**Πίνακας 3.6:** Τιμές μέγιστου και μέσου υψόμετρου των λεκανών απορροής 10, 11.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
10	101	48,4
11	192	70,3

Το ανάγλυφο είναι επίπεδο, στην εγγύς παραλιακή ζώνη (κλίσεις  $1^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ), το οποίο όμως γίνεται εντονότερο, όσο πλησιάζουμε τις λοφώδεις περιοχές των λεκανών, με εδαφικές κλίσεις, που κυμαίνονται μεταξύ  $10^{\circ}$  και  $33^{\circ}$  (Εικ 3.6). Ειδικότερα, στο πίνακα 3.7, που ακολουθεί, παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των κλίσεων των λεκανών απορροής 10, 11.

**Πίνακας 3.7:** Τιμές μέγιστης και μέσης κλίσης των λεκανών απορροής 10, 11.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ
10	21,2	12,1
11	32,1	15,1

### Περιοχή Αγία Μαρίνα - Παντέλι.

Οι περιοχές Αγ. Μαρίνα και Παντέλι περιβάλλονται από τους ορεινούς όγκους του Κάστρου και του Μεροβιγλίου. Αυτές αντιπροσωπεύονται από τις λεκάνες απορροής 12 και 13 αντίστοιχα, οι οποίες έχουν αντίθετη κατεύθυνση (Εικ. 3.4).

Η λεκάνη απορροής 12 καλύπτει μια έκταση  $0,39\text{Km}^2$  και έχει περίμετρο  $3,7\text{Km}$ . Τα μεγαλύτερα υψόμετρα παρατηρούνται στις πλαγιές του Κάστρου και Μεροβιγλίου, ενώ σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση του υψόμετρου, το μέγιστο υψόμετρο είναι  $197\text{m}$  και το μέσο υψόμετρο  $75,5\text{m}$  (Εικ. 3.5). Επίσης, η λεκάνη απορροής 13 εμφανίζει παρόμοια υψόμετρα με την λεκάνη απορροής της Αγ. Μαρίνας (Πίνακας 3.8), αφού περιβάλλεται από τους ίδιους ορεινούς όγκους. Ακόμα, η λεκάνη απορροής 13 καλύπτει μια έκταση  $0,44\text{Km}^2$  και έχει περίμετρο  $3,8\text{Km}$ .

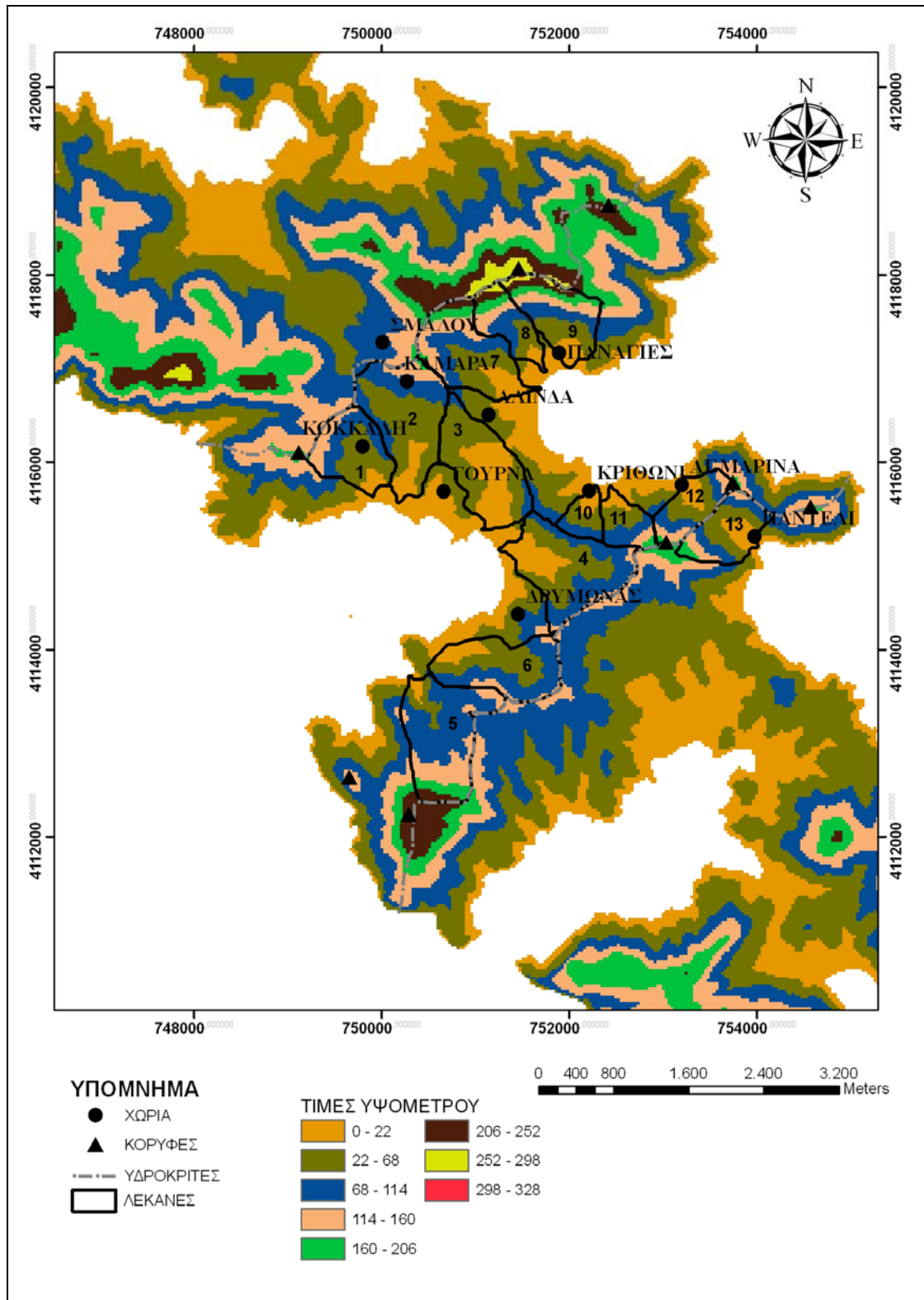
**Πίνακας 3.8:** Τιμή μέγιστου και μέσου υψομέτρου της λεκάνης απορροής 13.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
13	191	65,4

Το ανάγλυφο είναι σχεδόν επίπεδο στις παραλιακές ζώνες των περιοχών, με κλίσεις  $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ , γίνεται όμως εντονότερο, όσο πλησιάζουμε στις παρυφές των λεκανών, δηλαδή στις πλαγιές του Μεροβιγλίου και του Κάστρου, με κλίσεις που φθάνουν τις  $34^{\circ}$ - $36^{\circ}$ , αλλά και μία μέση τιμή  $17^{\circ}$  (Εικ. 3.6-Λεκάνες 12, 13).

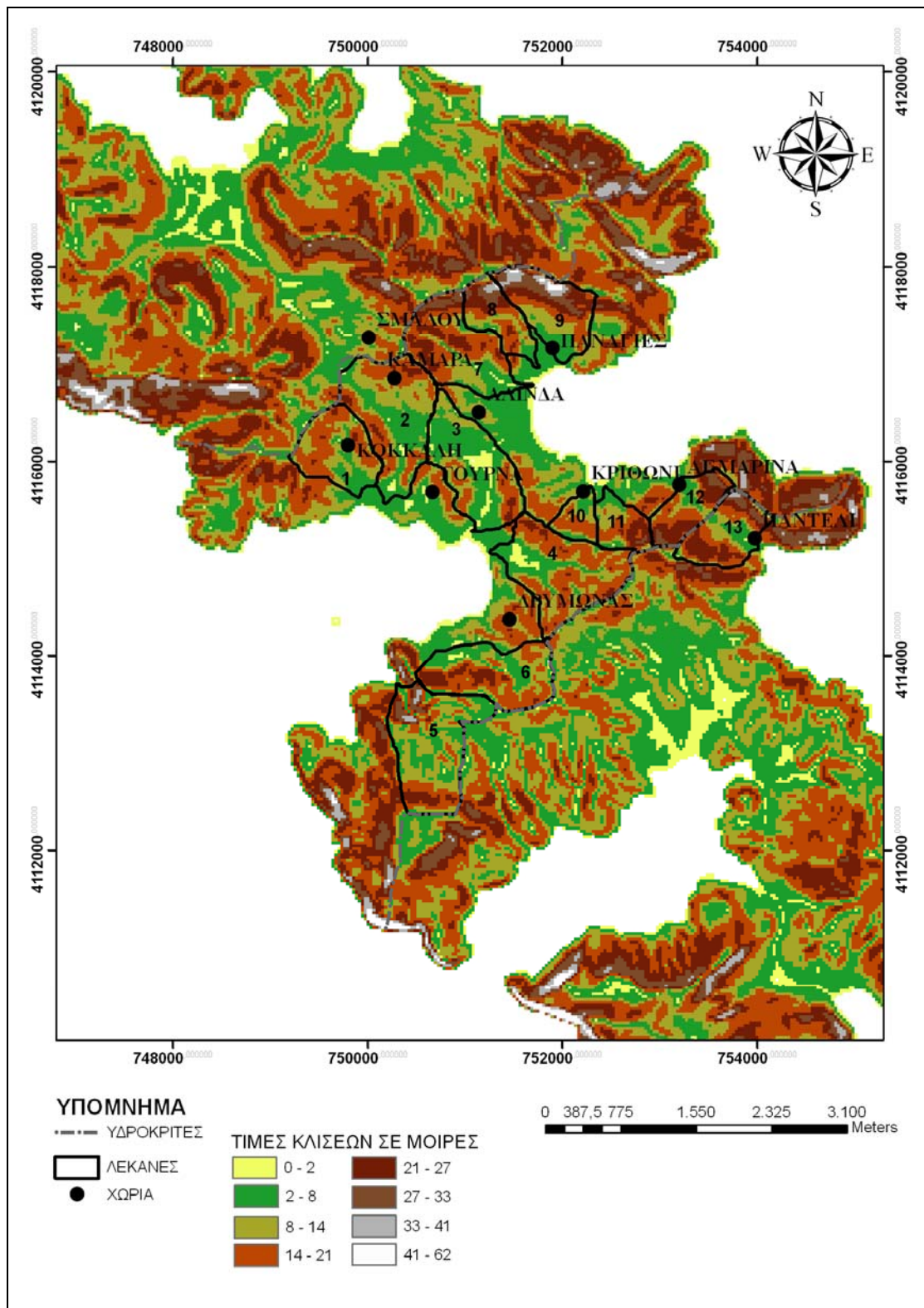


**Εικόνα 3.4:** Η υπέρθεση των λεκανών απορροής του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες διακεκομμένες απεικονίζεται η εσωτερική κοιλάδα Καμάρα. Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι τρεις λοφώδεις ράχες, που περιβάλλουν την περιοχή Γούρνα.



**Εικόνα 3.5:** Ο χάρτης υψομέτρου της Ν. Λέρου, με υπέρθεση τις λεκάνες απορροής του κεντρικού τμήματος της.





**Εικόνα 3.6:** Ο χάρτης κλίσεων της Ν. Λέρου, με υπέρθεση τις λεκάνες απορροής του κεντρικού τμήματος της.

### 3.2 Ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου.

#### Περιοχή Άλιντα - Παναγίες.

Σύμφωνα με το προηγούμενο υποκεφάλαιο, τα παράκτια τμήματα των λεκανών απορροής, με το ομαλό ανάγλυφο, αποτελούν αλλουβιακά πεδία απόθεσης υλικού, αφού εκεί καταλήγουν έξι κύριοι κλάδοι επιφανειακής απορροής. Αυτοί κατέρχονται από τις βόρειες και δυτικές παρυφές της περιοχής. Από αυτούς, οι τρεις ανήκουν στις λεκάνες απορροής 7, 8, 9, όπου οι δύο πρώτες είναι 2<sup>ης</sup> τάξης, ενώ η τρίτη είναι 3<sup>ης</sup> τάξης. Οι υπόλοιποι τρεις κύριοι κλάδοι ανήκουν σε λεκάνες απορροής 1<sup>ης</sup> τάξης, όπου οι δύο τοποθετούνται νότια της λεκάνης απορροής 7, ενώ ο άλλος ανατολικά της λεκάνης απορροής 9, στην περιοχή Παναγίες (Εικ 3.7 - Λεκάνες 7, 8, 9).

Η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου των λεκανών απορροής 7, 8, 9 κατά Strahler, παρουσιάζεται στον πίνακα 3.9, μαζί με τα στατιστικά στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου. Αυτά είναι ο αριθμός των καναλιών, που ανήκει σε κάθε τάξη, το μέσο μήκος τους, η μέση κλίση τους και η έκταση, που καλύπτουν σε εκτάρια. Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου των λεκανών 7 και 8 είναι δενδριτικός, λόγω του ότι αναπτύσσεται σε ομογενή πετρώματα, ενώ στην λεκάνη 9 είναι παράλληλος, λόγω των απότομων τοπογραφικών κλίσεων, που εμφανίζει, και λόγω της υποπαράλληλης των κλάδων 1<sup>ης</sup> τάξης (Εικ 3.7).

**Πίνακας 3.9:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση των λεκανών απορροής 7, 8 και 9.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
7	1	6	0,2	0,2	7,8
	2	1	1,06	0,05	77,4
8	1	3	0,2	0,3	5,4
	2	1	0,9	0,1	39,8
9	1	4	0,5	0,1	12,7
	2	2	0,1	0,1	29
	3	1	0,1	0,1	65,5

#### Περιοχή Καμάρα.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποτελείται από κλάδους 1<sup>ης</sup>, 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> τάξης και ακολουθεί τις πλαγιές των περιμετρικών μορφολογικών εξάρσεων. Συγκεκριμένα, η λεκάνη απορροής 2 έχει ένα υδρογραφικό δίκτυο 3<sup>ης</sup> τάξης (Πίνακας 3.10), όπου, οι κλάδοι 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης τοποθετούνται στην περιοχή (Καμάρα), ενώ ο κλάδος 3<sup>ης</sup> τάξης εντάσσεται στην περιοχή

Κόκκαλη. Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης είναι παράλληλος, (Εικ.3.7 - λεκάνη 2), λόγω των μεγάλων τοπογραφικών κλίσεων και της ανάπτυξης του κυρίως σε πτυχωμένα πετρώματα.

**Πίνακας 3.10:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση των λεκανών απορροής 2.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
2	1	5	0,4	0,1	8,9
	2	2	0,5	0,04	39,8
	3	1	0,7	0,03	165

### Περιοχή Κόκκαλη.

Η περιοχή Κόκκαλη αποτελεί ένα αλλουβιακό πεδίο απόθεσης, αφού εκεί καταλήγουν δύο κύριοι κλάδοι επιφανειακής απορροής των λεκανών 1 και 2, που αναφέραμε προηγουμένως. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής 1 είναι 2<sup>ης</sup> τάξης και ο τύπος του χαρακτηρίζεται δενδριτικός (Εικ. 3.7). Τα στατιστικά στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.11:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση της λεκάνης απορροής 1.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
1	1	3	0,5	0,1	13,8
	2	1	0,5	0,06	61,7

### Περιοχή Γούρνα.

Η περιοχή Γούρνα αποτελεί ένα αλλουβιακό πεδίο απόθεσης υλικού, αφού εκεί καταλήγουν οι δύο κύριοι κλάδοι επιφανειακής απορροής των λεκανών 3 και 4 (Εικ. 3.7)

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, καλύπτεται ουσιαστικά από δύο κλάδους 2<sup>ης</sup> τάξης, όπου ο καθένας ανήκει στην λεκάνη απορροής 3 και 4, αντίστοιχα (Εικ. 3.7 - Λεκάνες 3 & 4), ενώ βόρεια και νότια των λεκανών υπάρχουν κλάδοι 1<sup>ης</sup> τάξης. Το υδρογραφικό δίκτυο των λεκανών είναι 2<sup>ης</sup> τάξης και το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης 4 έχει μία γενική διεύθυνση Α-Δ (Εικ. 3.7). Τα στατιστικά στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου για την λεκάνη 3 είναι δενδριτικός, λόγω του ότι αναπτύσσεται κυρίως σε χαλαρές αποθέσεις. Για την λεκάνη απορροής 4, ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου χαρακτηρίζεται κλιμακωτός, λόγω του ότι τα πετρώματα είναι καταπονημένα από την τεκτονική και οι κλάδοι 1<sup>ης</sup> τάξης ενώνονται σε ορθή γωνία με τον κλάδο δεύτερης τάξης.

**Πίνακας 3.12:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση των λεκανών απορροής 3 και 4.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
<b>3</b>	1	4	0,3	0,05	8,1
	2	1	1,07	0,01	84
<b>4</b>	1	7	0,3	0,13	7,8
	2	1	1,3	0,04	97

#### Περιοχή Δρυμόνα - Αγ. Πέτρος.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής 6, που χαρακτηρίζει την περιοχή Δρυμόνα, αποτελείται ουσιαστικά από κλάδους 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης και ο τύπος του είναι δενδριτικός. Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής 5 (περιοχή Αγ. Πέτρος) είναι τεθλασμένος (ή δενδριτικός), αφού δεν έχει εμφανή γεωμετρική κανονικότητα (Εικ 3.7). Τα στατιστικά στοιχεία των υδρογραφικών δικτύων τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.13:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση των λεκανών απορροής 5 και 6.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
<b>5</b>	1	6	0,5	0,11	12,3
	2	1	0,9	0,09	95,9
<b>6</b>	1	7	0,2	0,13	6,2
	2	1	1,08	0,04	78

### Περιοχή Κριθώνι.

Η περιοχή Κριθώνι αποτελεί ένα αλλουβιακό πεδίο απόθεσης υλικού, αφού εκεί καταλήγουν τρεις κύριοι κλάδοι επιφανειακής απορροής. Οι δύο είναι 2<sup>ης</sup> τάξης και ανήκουν στις λεκάνες απορροής 10 και 11, αντίστοιχα, και κατέρχονται από τις λοφώδεις περιοχές. Ο τύπος των υδρογραφικών δικτύων των λεκανών απορροής είναι δενδριτικός (Εικ. 3.7) και τα στατιστικά στοιχεία τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.14:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση των λεκανών απορροής 10 και 11.

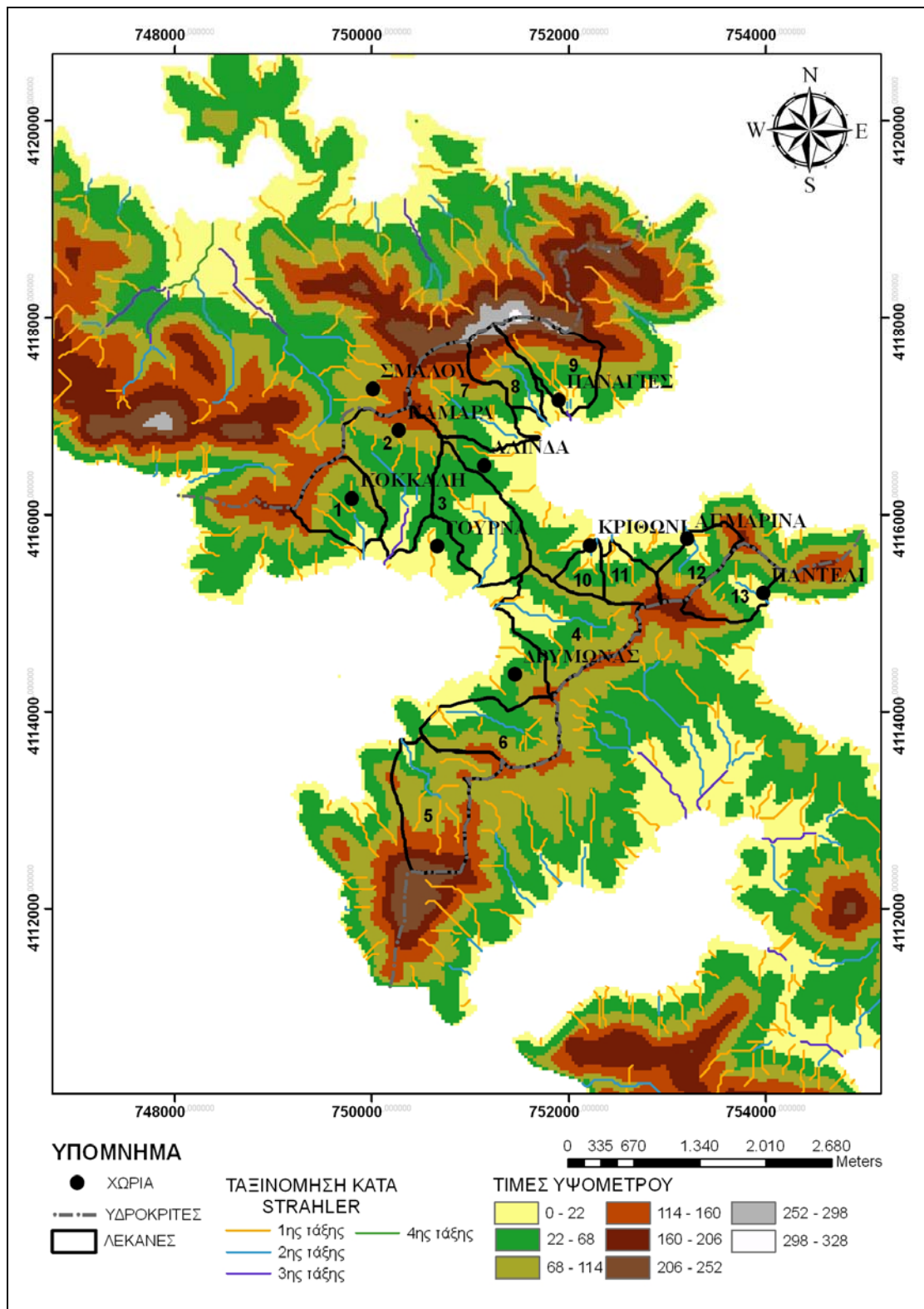
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
10	1	2	0,2	0,12	6,8
	2	1	0,2	0,06	17,5
11	1	2	0,5	0,12	12,6
	2	1	0,03	0,03	28,2

### Περιοχή Αγ. Μαρίνα - Παντέλι.

Οι περιοχές, με το ομαλό ανάγλυφο (παράκτιες ζώνες), αποτελούν αλλουβιακά πεδία απόθεσης υλικού, αφού εκεί καταλήγουν οι κλάδοι επιφανειακής απορροής 2<sup>ης</sup> τάξης, αλλά και ένας κλάδος 1<sup>ης</sup> τάξης, ο οποίος δημιουργεί ξεχωριστό πεδίο απόθεσης στην περιοχή Αγ. Μαρίνα (Εικ.3.7). Στις περιοχές, με το εντονότερο ανάγλυφο, παρατηρούνται γεωμορφές τεκτονικής κυρίως προέλευσης, όπως οι κρημνοί επωθήσεως και οι κρημνοί ρήγματος, αλλά και γεωμορφές που οφείλουν τη γένεση τους, στη χημική και μηχανική αποσάθρωση των πετρωμάτων, δηλαδή διάσπαρτες μικρές καρστικές κοιλότητες. Το υδρογραφικό δίκτυο των λεκανών απορροής 12 και 13 είναι 2<sup>ης</sup> τάξης και ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου τους είναι δενδριτικός (Εικ. 3.7). Στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία των υδρογραφικών δικτύων τους.

**Πίνακας 15:** Στατιστικά στοιχεία κατά την Strahler ταξινόμηση των λεκανών απορροής 12, 13.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Km)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (m/m)	ΜΕΣΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑ ΤΑΞΗ (hec)
12	1	5	0,2	0,2	4,6
	2	1	0,6	0,09	39
13	1	4	0,2	0,2	5,6
	2	1	0,5	0,04	45,8



**Εικόνα 3.7:** Η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler, με υπέρθεση των λεκανών απορροής του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

#### 4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

##### 4.1 Κλιματολογικά δεδομένα.

Για την ανάλυση των κλιματολογικών στοιχείων της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την κλιματολογική βάση δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Απ' αυτήν ζητήθηκαν τα κλιματολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της νήσου Λέρου (αεροναυτικός) και του πλησιέστερου, ως προς τον προηγούμενο, δηλαδή της νήσου Κω (κύριος συνοπτικός), όπου τα στοιχεία των οποίων δίνονται συνοπτικά στον πίνακα 4.1.

**Πίνακας 4.1:** Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών περιοχής μελέτης.

Σταθμός	Κωδικός Σταθμού	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Ύψος	Περίοδος Δεδομένων
Κως	16742	36,80	27,08	-	1/1/1986-31/12/2004
Λέρος	16768	37,10	24,48	11	1/1/1986-31/12/2004

Στους πίνακες 4.2 και 4.3 παρατίθενται τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι μηνιαίες τιμές της μέσης θερμοκρασίας, της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας, της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας, της μέσης σχετικής υγρασίας και του μέσου ύψους βροχής, ενώ στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται ο αριθμός των ημερών βροχής, καταιγίδας και χαλαζιού.

Επίσης, όσον αφορά τις τιμές των θερμοκρασιών της Λέρου (μέση, ελάχιστη, μέγιστη), έχουν συμπληρωθεί, με βάση τον πλήρη σταθμό της Κω για την δεκαετία 1989 έως 1999, σύμφωνα με την μέθοδο της απλής γραμμικής συσχέτισης, που ο συντελεστής συσχέτισης πρέπει να έχει τιμή πάνω από  $R > 0,70$  (Κωτσόπουλος, 2006). Έτσι λοιπόν, οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των δύο σταθμών, για τους παραπάνω παραμέτρους είναι 0,98, 0,97 και 0,98, αντίστοιχα, ενώ οι γραμμικές εξισώσεις τους είναι: α)  $y = 0,9898x + 0,8185$  (μέση θερμοκρασία), β)  $y = 1,011x - 1,0447$  (μέση ελάχιστη θερμοκρασία), γ)  $y = 0,9325x + 1,6024$  (μέση μέγιστη θερμοκρασία). Ακόμα, πρέπει να αναφέρουμε ότι τα χρόνια, από 1986 έως 1988 και από 2000 έως 2004, δεν συμπληρώθηκαν, διότι είναι αδύνατον να συμπληρωθούν 19 χρόνια, όταν και η δεκαετία 1989 - 1999 είναι ελλιπής, ενώ τα υπόλοιπα χρόνια δεν έχουν καθόλου τιμές.

Όσον αφορά τις άλλες παραμέτρους (μέση σχετική υγρασία, ύψος βροχής), δεν μπορούσαν να συμπληρωθούν, λόγω του ότι υπάρχουν πολύ μεγάλα χρονικά κενά στην βάση δεδομένων της Λέρου, μ' αποτέλεσμα να προκύπτουν συντελεστές συσχέτισης κάτω από 0,7. Έτσι λοιπόν,

όσον αφορά τους παραπάνω παραμέτρους, χρησιμοποιήσαμε τον μέσο όρο των μέσων μηνιαίων τιμών για την δεκαετία 1989-1999 από τον μετεωρολογικό σταθμό της Κω, για να μπορούν να αναλυθούν σε σχέση με την θερμοκρασία. Λόγω όμως της γειτονικής απόστασης των δύο νησιών, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν θα εμφανίζουν σημαντικές διακυμάνσεις.

**Πίνακας 4.2:** Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης (1989-1999).

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)			ΥΕΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ (mm)	
ΙΑΝ	11,3	7,6	13,8	80,4	70,1
ΦΕΒ	11,6	7,5	14,2	73,0	70,3
ΜΑΡ	13,1	9,3	15,9	72,6	72,3
ΑΠΡ	16,1	11,3	19,4	28,8	70,5
ΜΑΙΟΣ	20,3	14,7	23,3	14,4	67,0
ΙΟΥΝ	24,8	19,2	28,3	2,0	59,3
ΙΟΥΛ	26,4	21,4	29,8	0,0	60,8
ΑΥΓ	26,4	21,9	29,8	2,4	63,5
ΣΕΠ	23,8	19,6	27,0	2,0	63,8
ΟΚΤ	20,7	16,5	23,9	44,3	69,5
ΝΟΕ	16,2	12,4	19,0	75,5	72,0
ΔΕΚ	13,2	9,5	15,6	103,0	74,6
ΕΤΟΣ	<b>18,6</b>	<b>14,3</b>	<b>21,7</b>	<b>498,4</b>	<b>67,8</b>

**Πίνακας 4.3:** Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης (1986-2004).

ΜΗΝΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ		
	ΚΑΤΑΓΙΓΔΑΣ	ΧΑΛΑΖΙ	ΒΡΟΧΗΣ
ΙΑΝ	3	0	11,06
ΦΕΒ	3,42	0	9,84
ΜΑΡ	3	0	7,47
ΑΠΡ	2,06	0	6
ΜΑΙΟΣ	1,12	0	2,71
ΙΟΥΝ	0,44	0	0,67
ΙΟΥΛ	0,05	0	0,05
ΑΥΓ	0,05	0	0,05
ΣΕΠ	0,56	0	1,22
ΟΚΤ	1,95	0	3,68
ΝΟΕ	4,11	0	9,68
ΔΕΚ	3,94	0,11	12,11
ΣΥΝ	<b>23,7</b>	<b>0,11</b>	<b>64,54</b>



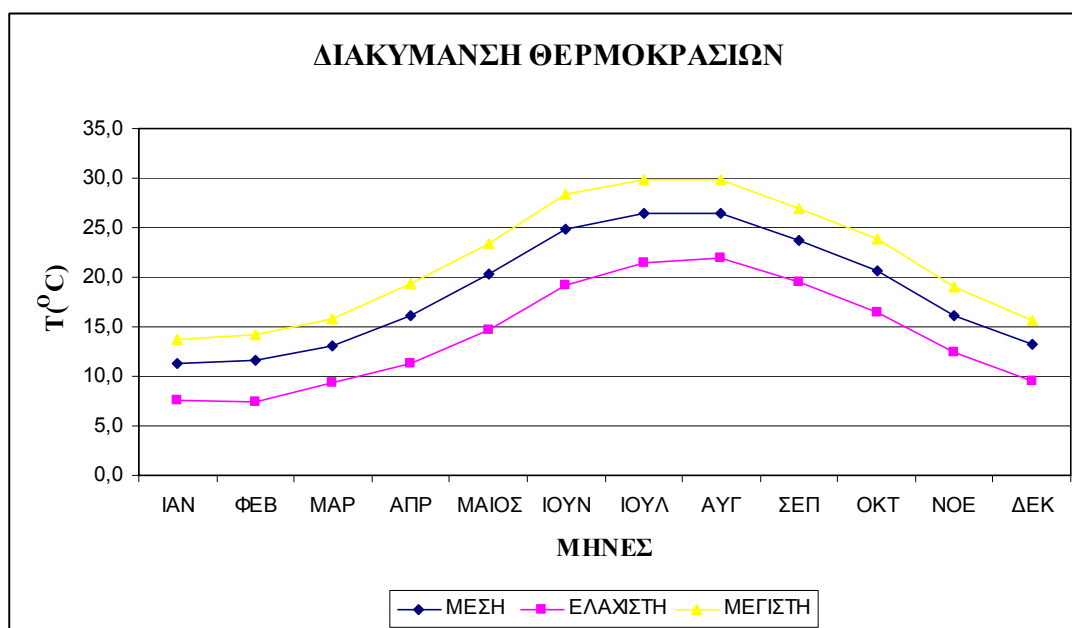
Τέλος, όσον αφορά τον αριθμό καταιγίδων, χαλαζιού και βροχής, χρησιμοποιήσαμε τα μετεωρολογικά δεδομένα, μόνο απ' τον σταθμό της Κω, λόγω του ότι δεν εμφάνιζαν καμιά γραμμική σχέση με εκείνα της Λέρου, που οφείλεται στην μεγάλη έλλειψη δεδομένων. Σ' αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιήσαμε τα κλιματολογικά δεδομένα, για όλα τα χρόνια (1986-2004).

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, αν και οι δύο σταθμοί έχουν ίδιες χρονικές περιόδους λειτουργίας, λόγω των μεγάλων ελλείψεων, που εμφανίζει ο μετεωρολογικός σταθμός της Λέρου, η όποια αξιολόγηση, που επιχειρείται, πραγματοποιείται για να υπάρχει μια ενδεικτική εικόνα των κλιματικών συνθηκών της περιοχής μελέτης.

Επίσης, για την δική μας διευκόλυνση, παρατίθενται παρακάτω τα γραφήματα των τιμών των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, των μέσων μηνιαίων τιμών ύψους κατακρημνισμάτων, των μέσων μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας, καθώς και η συχνότητα εμφάνισης άλλων καιρικών φαινομένων, όπως μέρες βροχής, μέρες καταιγίδας και μέρες χαλαζιού.

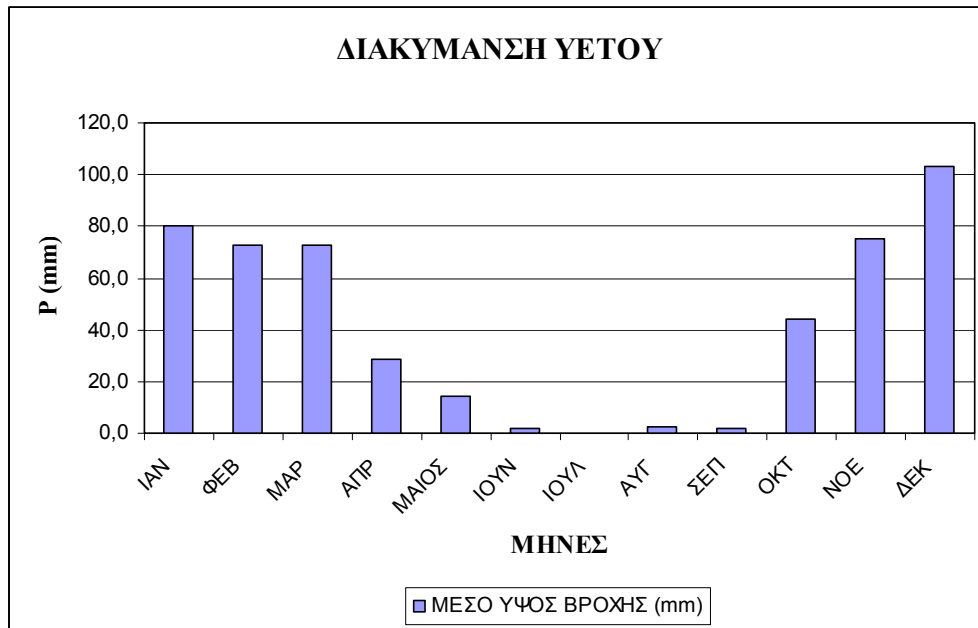
Συγκεκριμένα, στο γράφημα διακύμανσης θερμοκρασιών (Σχ. 4.1) παρατηρούμε ότι οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, με μέση θερμοκρασία 26,4 °C, ενώ ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος, με μέση θερμοκρασία 11,3 °C.

Επίσης, η μέση μέγιστη ετήσια θερμοκρασία που έχει παρατηρηθεί είναι 21,7 °C, ενώ η μέση ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία είναι 14,3 °C (Πίνακας 4.2). Επιπλέον, η μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (Ιούλιος, Αύγουστος) είναι 29,8 °C, ενώ η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (Φεβρουάριος) είναι 7,5 °C (Σχ. 4.1).

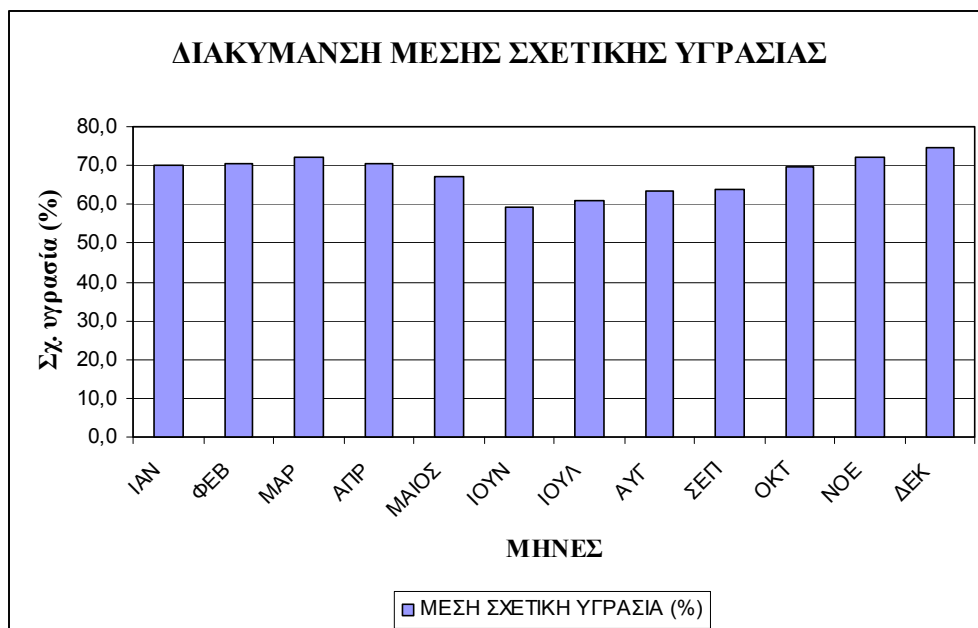


Σχήμα 4.1: Διακύμανση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για τα έτη 1989-1999.

Το μέσο ετήσιο ύψος νετού ανέρχεται σε 498mm. Ο ξηρότερος μήνας είναι ο Ιούλιος (0 mm), ενώ ο υγρότερος (βροχερότερος) ο Δεκέμβριος (103mm) (Σχ. 4.2). Επιπλέον, η μέγιστη υγρασία παρατηρείται τον μήνα Δεκέμβρη (74,6%) και η ελάχιστη τον μήνα Ιούνιο (59,3%) (Σχ. 4.3), ενώ η μέση τιμή είναι 67,8 % (Πίνακας 4.2).

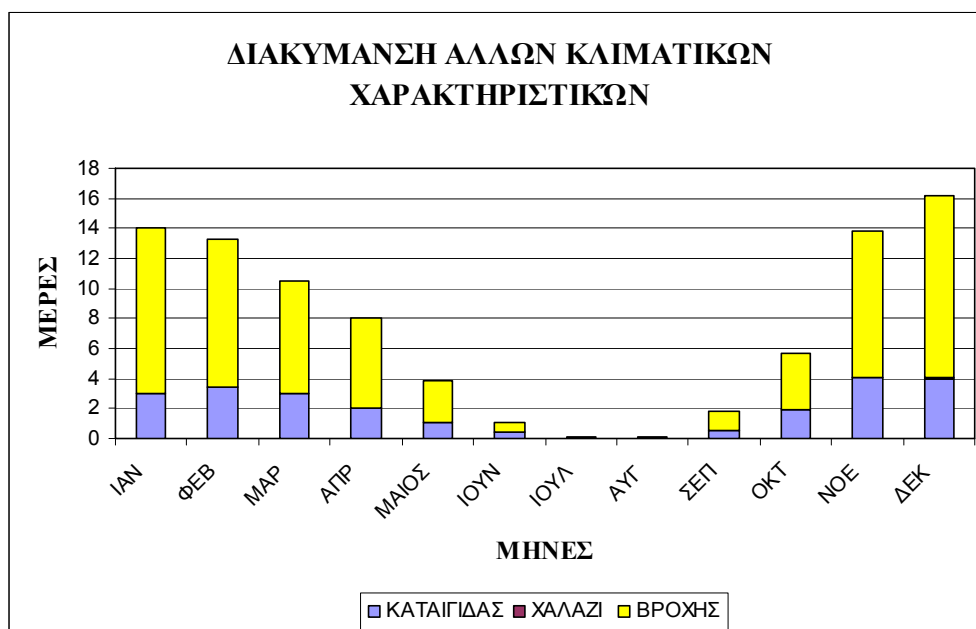


Σχήμα 4.2: Διακύμανση του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής για τα έτη 1989-1999.



Σχήμα 4.3: Διακύμανση της μέσης σχετικής υγρασίας για τα έτη 1989-1999.

Τέλος, όσον αφορά την διακύμανση άλλων κλιματικών χαρακτηριστικών παρατηρούμε ότι η πτώση χαλαζιού είναι ένα σπάνιο φαινόμενο, ενώ συχνότερα εμφανίζονται οι καταγίδες, οι οποίες και αυτές έχουν μικρότερη εμφάνιση, σε σχέση με τις ημέρες βροχής (Σχ. 4.4)



**Σχήμα 4.4:** Διακύμανση άλλων κλιματικών χαρακτηριστικών για τα έτη 1986-2004.

#### 4.2 Περιγραφή του κλίματος.

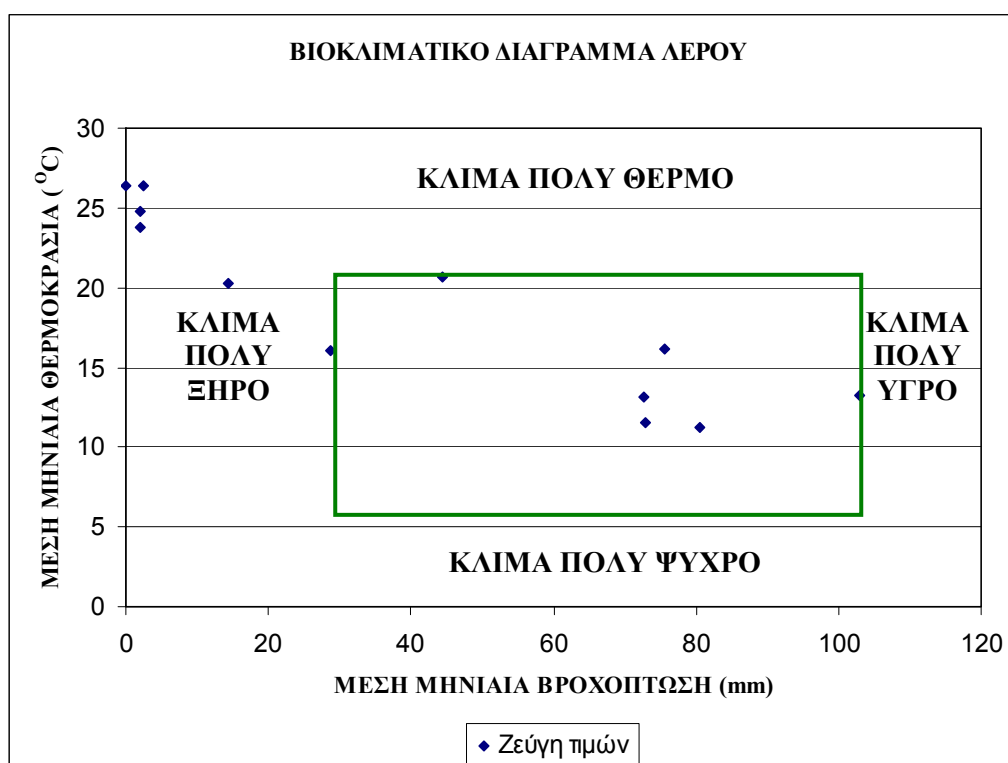
Για να χαρακτηρίσουμε το κλίμα της Λέρου χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο ταξινόμησης κατά Κορρεν, που όπως θα δούμε παρακάτω, ανήκει στο εύκρατο τύπο κλίματος με ξηρό θέρος. Συγκεκριμένα, για ν' ανήκει στο εύκρατο κλίμα με ξηρό θέρος, πρέπει το ύψος βροχόπτωσης του ξηρότερου θερμού μήνα ( $r_{\xi}$ ) να είναι, αφενός, μικρότερο των 30mm και αφετέρου, μικρότερο του 1/3 του ύψους βροχής, του βροχερότερου μήνα ( $r_{\nu}$ ), δηλαδή  $r_{\xi} < 30\text{mm}$  και  $r_{\xi} < r_{\nu}/3$ . Επίσης, για την ύπαρξη της ξηρής περιόδου στη διάρκεια του θέρους, θα πρέπει να ισχύει  $r_{\nu}$  (χειμώνας)/  $r_{\xi}$  (θέρος)  $\geq 3$  (Φλόκας, 1997).

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις, παρατηρούμε ότι το ύψος της βροχής του ξηρότερου μήνα της περιοχής μελέτης είναι 2,4mm (Αύγουστος), άρα είναι μικρότερος από 30mm, ενώ ο λόγος του βροχερότερου μήνα (103mm) με τον αριθμό 3 ισούται με 34,3mm, άρα ισχύει η σχέση  $r_{\xi} < r_{\nu}/3$ , αφού  $2,4\text{mm} < 34,3\text{mm}$ . Επίσης, ο λόγος  $r_{\nu}$  (χειμώνας)/  $r_{\xi}$  (θέρος) =  $103\text{mm}/2,4\text{mm} = 42,9$ , δηλαδή ο λόγος  $r_{\nu}$  (χειμώνας)/  $r_{\xi}$  (θέρος)  $\geq 3$ .

Επίσης, σε γενικές γραμμές ο τύπος του κλίματος μπορεί να θεωρηθεί ημιυγρός προς ξηρός, με καθόλου ή μηδαμινό πλεόνασμα νερού κατά τον χειμώνα (κατά Thornthwaite), ο οποίος

μπορεί να επαληθευτεί με τον δείκτη Lang και τα βιοκλιματικά διαγράμματα κατά Pristley-Taylor και Emberger - Savage.

Στο βιοκλιματικό διάγραμμα κατά Pristley - Taylor, που εφαρμόστηκε για την περιοχή μελέτης, παρατηρούμε ότι τα περισσότερα ζεύγη των τιμών (x,y) της μέσης μηνιαίας βροχοπτώσης και της θερμοκρασίας, προβάλλονται στο αριστερό μέρος του διαγράμματος, άρα το κλίμα της Αθήνας μπορεί να χαρακτηριστεί από πολύ ξηρό μέχρι πολύ θερμό (Σχ. 4.5). Τα σημεία, που βρίσκονται μέσα στο τετράγωνο, δεν τα υπολογίζουμε.



Σχήμα 4.5: Βιοκλιματικό διάγραμμα Λέρου.

Όσον αφορά τον δείκτη Lang, αυτός εκτιμήθηκε για κάθε ένα μήνα, χρησιμοποιώντας το μηνιαίο ύψος βροχής και την μέση μηνιαία θερμοκρασία, όπου με βάση τον τύπο:  $\text{Δείκτης Lang} = \frac{\text{Ύψος Βροχής (mm)}}{\text{Θερμοκρασία (}^{\circ}\text{C)}}$ , προέκυψε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 4.5), με τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό, για τον κάθε μήνα (κατά Gracani). Ο χαρακτηρισμός κατά Gracani γίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 4.4.

Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω ταξινόμηση και με τον πίνακα (4.5), που ακολουθεί, παρατηρούμε ότι το κλίμα της Λέρου κυμαίνεται από υπόξηρο μέχρι υπέρξηρο, σύμφωνα με την κατάταξη του Gracani. Αυτοί οι χαρακτηρισμοί εναλλάσσονται μεταξύ τους κατά ένα πλήθος μηνών του χρόνου, με ένα ενδιάμεσο χαρακτηρισμό τον ξηρό, που εμφανίζεται στον προ-τελευταίο μήνα της άνοιξης και στον δεύτερο μήνα του φθινοπώρου. Αυτό οφείλεται σε

κλιματικά χαρακτηριστικά, που συνδέονται με συνεχή εναλλαγή ομάδων ημερών χειμώνα και θέρους.

Αρα είναι δύο μεταβατικές περίοδοι του χρόνου, που χαρακτηρίζονται κλιματικά ασταθείς, σε αντίθεση με την χρονική περίοδο του χειμώνα και του θέρους, που έχουν πιο ομοιόμορφα κλιματικά χαρακτηριστικά.

**Πίνακας 4.4:** Εύρος τιμών δείκτη Lang και χαρακτηρισμός κατά Gracanic.

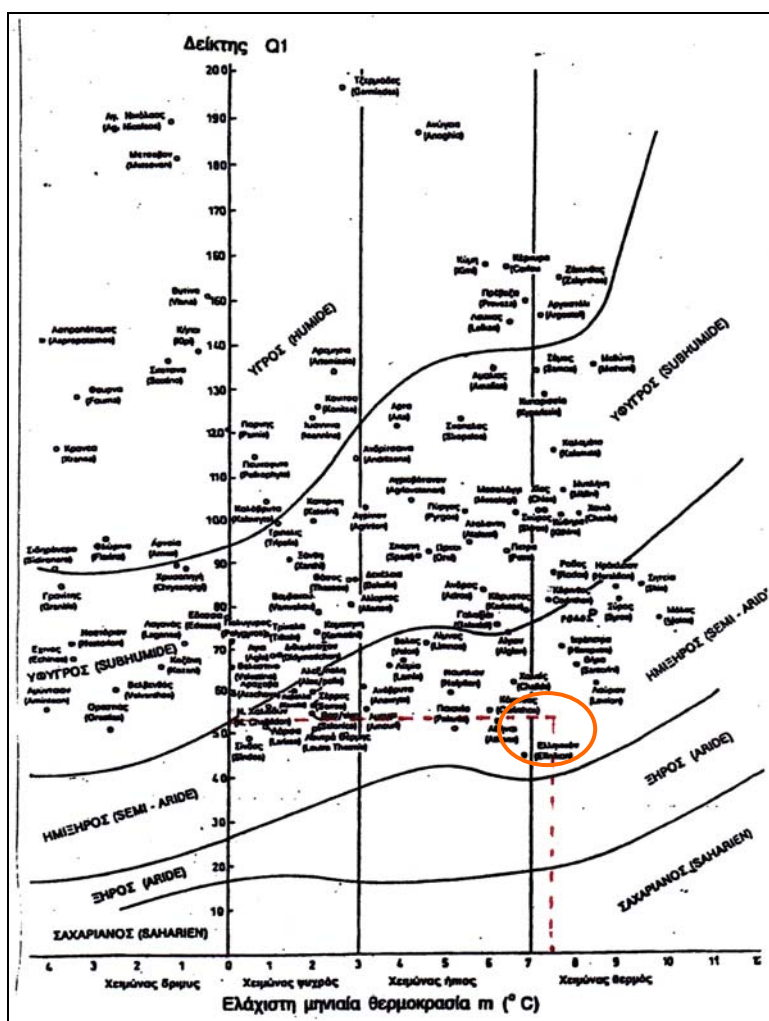
Εύρος τιμών δείκτη Lang	Χαρακτηρισμός Κλίματος
< 1,7	Υπέρξηρο
1,7 - 3,39	Ξηρό
3,4 - 7,79	Υπόξηρο
8,0 - 8,29	Υφυγρό
8,30 - 13,29	Υγρό
> 13.3	Υπέρυγρο

**Πίνακας 4.5:** Χαρακτηρισμός του κλίματος της Λέρου κατά ένα μήνα, σύμφωνα με την κατάταξη του Gracanic.

Μήνας	Μηνιαίο Ύψος Βροχής (mm)	Μηνιαία Μέση Θερμοκρασία (°C)	Δείκτης Lang	Χαρακτηρισμός κατά Gracanic
ΙΑΝ	80,4	11,26	7,1	Υπόξηρο
ΦΕΒ	73,0	11,56	6,3	Υπόξηρο
ΜΑΡ	72,6	13,11	5,5	Υπόξηρο
ΑΠΡ	28,8	16,07	1,8	Ξηρό
ΜΑΙ	14,4	20,29	0,7	Υπέρξηρο
ΙΟΥΝ	2,0	24,79	0,1	Υπέρξηρο
ΙΟΥΛ	0,0	26,4	0,0	Υπέρξηρο
ΑΥΓ	2,4	26,43	0,1	Υπέρξηρο
ΣΕΠ	2,0	23,75	0,1	Υπέρξηρο
ΟΚΤ	44,3	20,67	2,1	Ξηρό
ΝΟΕ	75,5	16,17	4,7	Υπόξηρο
ΔΕΚ	103,0	13,24	7,8	Υπόξηρο

Τέλος, για την εφαρμογή του βιοκλιματικού διαγράμματος κατά Emberger - Sauvage, βασική προϋπόθεση είναι ο υπολογισμός του δείκτη Q1. Ο δείκτης Q1 εκφράζεται με τον τύπο:  $Q1 = 100 * P / ((M+m) * (M-m))$ , όπου P συμβολίζει την μέση ετήσια βροχή (mm), M = την μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα, m= μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα. Αν εφαρμόσουμε τον παραπάνω τύπο για την περιοχή της Λέρου, προκύπτει η τιμή:  $Q = 53,9$ , δηλαδή:  
 $Q = 100 * 448,4 / ((29,8 + 7,5) * (29,8 - 7,5)) = 53,9$ .

Όμως για να προβάσουμε το σημείο, που αντιπροσωπεύει την Λέρο πάνω στο βιοκλιματικό διάγραμμα Embberger, χρειαζόμαστε την ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία για την κάθε περιοχή. Έτσι, αν τοποθετήσουμε το ζεύγος τιμών  $(x,y)=(\text{ελ.μην.θερ} , Q) = (7,5 , 53,9)$ , προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα Embberger (Σχ. 4.6), στο οποίο η Λέρος χαρακτηρίζεται από ένα ημίξηρο κλίμα και έναν γενικά θερμό χειμώνα.



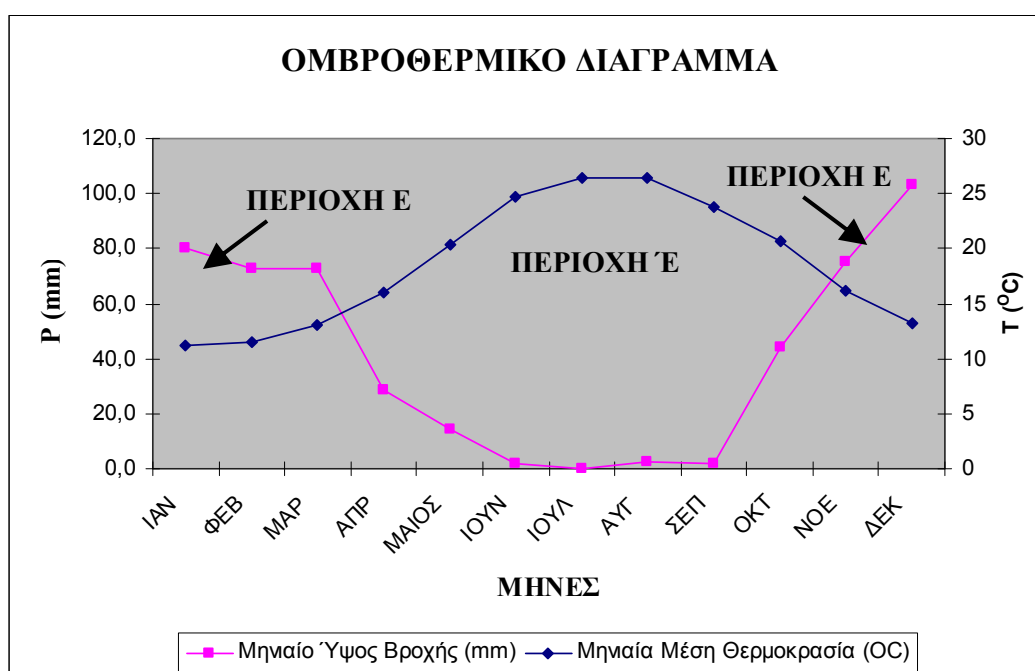
Σχήμα 4.6: Βιοκλιματικό διάγραμμα Embberger της Ν. Λέρου. Ο πορτοκαλί κύκλος δείχνει την τοποθέτηση της περιοχής μελέτης στο διάγραμμα.

#### 4.3 Ομβροθερμικό διάγραμμα.

Στο ομβροθερμικό διάγραμμα της Λέρου παρατηρείται ότι η καμπύλη της θερμοκρασίας τέμνει την καμπύλη της βροχόπτωσης σχεδόν πάνω από τους μήνες Απρίλιο και Νοέμβριο, σχηματίζοντας μια περιοχή (E), όπου συμβολίζει την ξηρή περίοδο, δηλαδή δείχνει την ένταση και την διάρκεια της ξηρής περιόδου, ενώ οι περιοχές (E) που βρίσκονται δεξιά και αριστερά από την ξηρή περίοδο, συμβολίζουν τις υγρές περιόδους ενός ετήσιου χρόνου.

Συγκεκριμένα, η ξηρή περίοδος διαρκεί από τα τέλη Μαρτίου έως τα μέσα Νοεμβρίου, όπου οι υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας δείχνουν τις μεγαλύτερες απώλειες, μέσω της εξάτμισης και διαπνοής, ενώ από τα μέσα Νοεμβρίου έως τα τέλη του Μαρτίου διαρκεί η υγρή περίοδος (Σχ. 4.7).

Τέλος, οι κάθετοι άξονες του ομβροθερμικού διαγράμματος (θερμοκρασίας, βροχόπτωσης), δεν σχηματίστηκαν με βάση την κλίμακα: 2cm να αντιστοιχούν σε 20mm ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και σε 10 °C, για τον κάθε άξονα, αντίστοιχα (Χρονοπούλου, 1996). Αυτό έγινε, λόγω της μη δυνατότητας του προγράμματος excel 2003, να μορφοποιεί την κλίμακα, κατά πρόθεση.



**Σχήμα 4.7:** Ομβροθερμικό διάγραμμα Λέρου και η προβολή της υγρής και ξηρής περιόδου.

#### 4.4 Εκτίμηση Υδρολογικού Ισοζυγίου.

Στο υποκεφάλαιο αυτό υπολογίσαμε το υδρολογικό ισοζύγιο στο κεντρικό τμήμα του νησιού, όπως αυτό οριοθετείται από τους δύο υδροκρίτες, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχή Παντέλι.

Επειδή δεν γνωρίζουμε την εδαφική υγρασία της Λέρου, η οποία για να υπολογιστεί χρειάζεται ο κεντροβαρικός συντελεστής απορροής (CN) (Psilonikos et al) και λόγω του μικρού ετήσιου ύψους βροχής, το οποίο είναι κάτω από 700mm (Σούλιος, 2010), δεν μπορούμε να βρούμε την πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Thornthwaite (1948) και Turc (1951), αντίστοιχα. Επίσης, η εφαρμογή του τύπου του Coutange (1954), αν και είναι εφαρμόσιμος, με

βάση την ετήσια βροχόπτωση, δεν λειτουργεί σωστά, αφού βρίσκουμε μια εξατμισοδιαπνοή (E) 85%, κάτι το οποίο δεν είναι φυσιολογικό.

Για τους παραπάνω λόγους, υπολογίσαμε τον όγκο νερού κατείδυσης (I) και απορροής (R) για τον κάθε γεωλογικό σχηματισμό, εκτιμώντας τους αντίστοιχους συντελεστές κατείδυσης, σύμφωνα με τον Σούλιο (2010), ενώ στην συνέχεια λύσαμε την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου ως προς εξατμισοδιαπνοή (E)

Για το υπολογισμό των όγκων νερού, που κατεισδύουν, χρησιμοποιήσαμε για τις αλλουβιακές αποθέσεις, τους κώνους κορημάτων, τα πλευρικά κορήματα και τα συνεκτικά κορήματα τον συντελεστή 15%, ενώ για τους σχιστόλιθους - φυλλίτες, για τα κλαστικά υλικά με εναλλαγές μαργών - αργίλων και για τα ανθρακικά πετρώματα, τους συντελεστές 7%, 8% και 30%, αντίστοιχα. Επίσης, για τον υπολογισμό των όγκων, που απορρέουν για τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς, χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές 5%, 15%, 20% και 5%, με την ίδια σειρά, που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω και χρησιμοποιώντας το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (498mm) της περιοχής μελέτης, για την δεκαετία 1989-1999, με σκοπό να βρεθεί ο αρχικός όγκος νερού, που πέφτει σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας 4.6. Έτσι λοιπόν, αν διαιρέσουμε τους συνολικούς όγκους απορροής και κατείδυσης, με την έκταση της περιοχής μελέτης, προκύπτει ότι 73mm κατεισδύουν, ενώ 92mm απορρέουν. Άρα, γνωρίζοντας την απορροή (R), την κατείδυση (I) και την βροχόπτωση (P), μπορούμε να υπολογίσουμε την εξατμισοδιαπνοή:

- $P = R + I + E \rightarrow E = P - (R + I) \rightarrow E = 498\text{mm} - 165\text{mm} = 333\text{mm}$
- Άρα,  $P = R + I + E \leftrightarrow 100\% = 18,5\% + 14,7\% + 66,8\%$

Η τιμή των 66,8% που προκύπτει για την εκτιμώμενη εξατμισοδιαπνοή θεωρείται ικανοποιητική και είναι εντός των ορίων, που βρίσκεται για πολλές περιοχές της Ελλάδος.



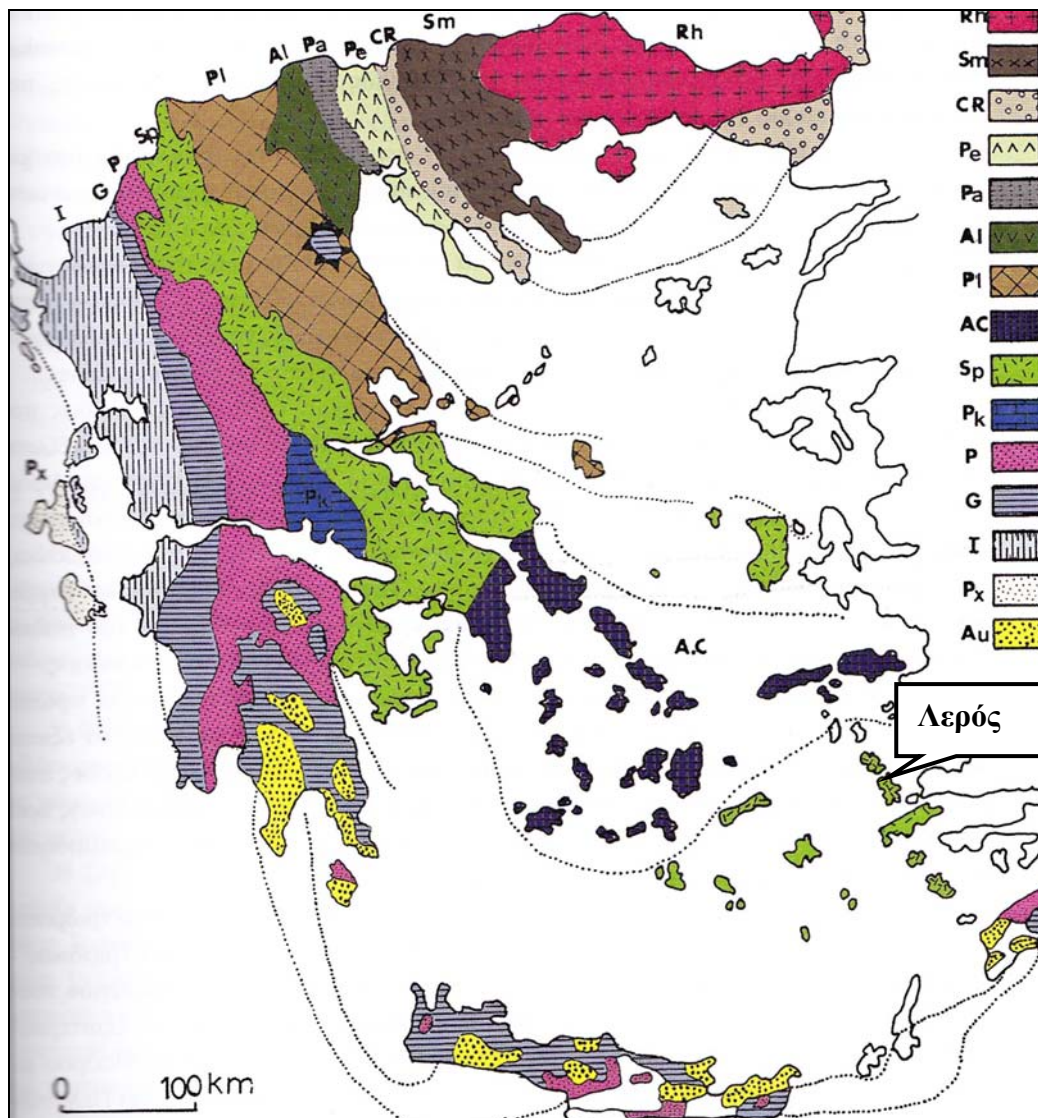
**Πίνακας 4.6:** Οι όγκοι νερού που κατείσδουν και απορρέουν στην περιοχή μελέτης.

Υδρολιθολογικός Σχηματισμός	Έκταση	Ύψος Βροχής	Όγκος νερού	Συντελεστής κατείσδυσης	Συντελεστής απορροής	Όγκος νερού κατείσδυσης	Όγκος νερού απορροής
	Km <sup>2</sup>	mm	m <sup>3</sup>	%	%	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Αλλουβιακές αποθέσεις, κόνιοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, συνεκτικά κορήματα	2,4	498	1.195.200	15	5	179.280	597.600
Σχιστόλιθοι με εναλλαγές μαρμάρων, φυλλίτες, αργιλικό σχιστόλιθοι	8,8	498	4.382.400	7	15	306.768	657.360
Κλαστικά υλικά, εναλλαγές μαργών αργίλων	0,5	498	249.000	8	20	19.920	49.800
Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικά ανθρακικά ιζήματα	4,5	498	2.241.000	30	8	672.300	179.280
<b>Σύνολο</b>	<b>16,2</b>		<b>8.067.600</b>			<b>1.178.268</b>	<b>1.484.040</b>

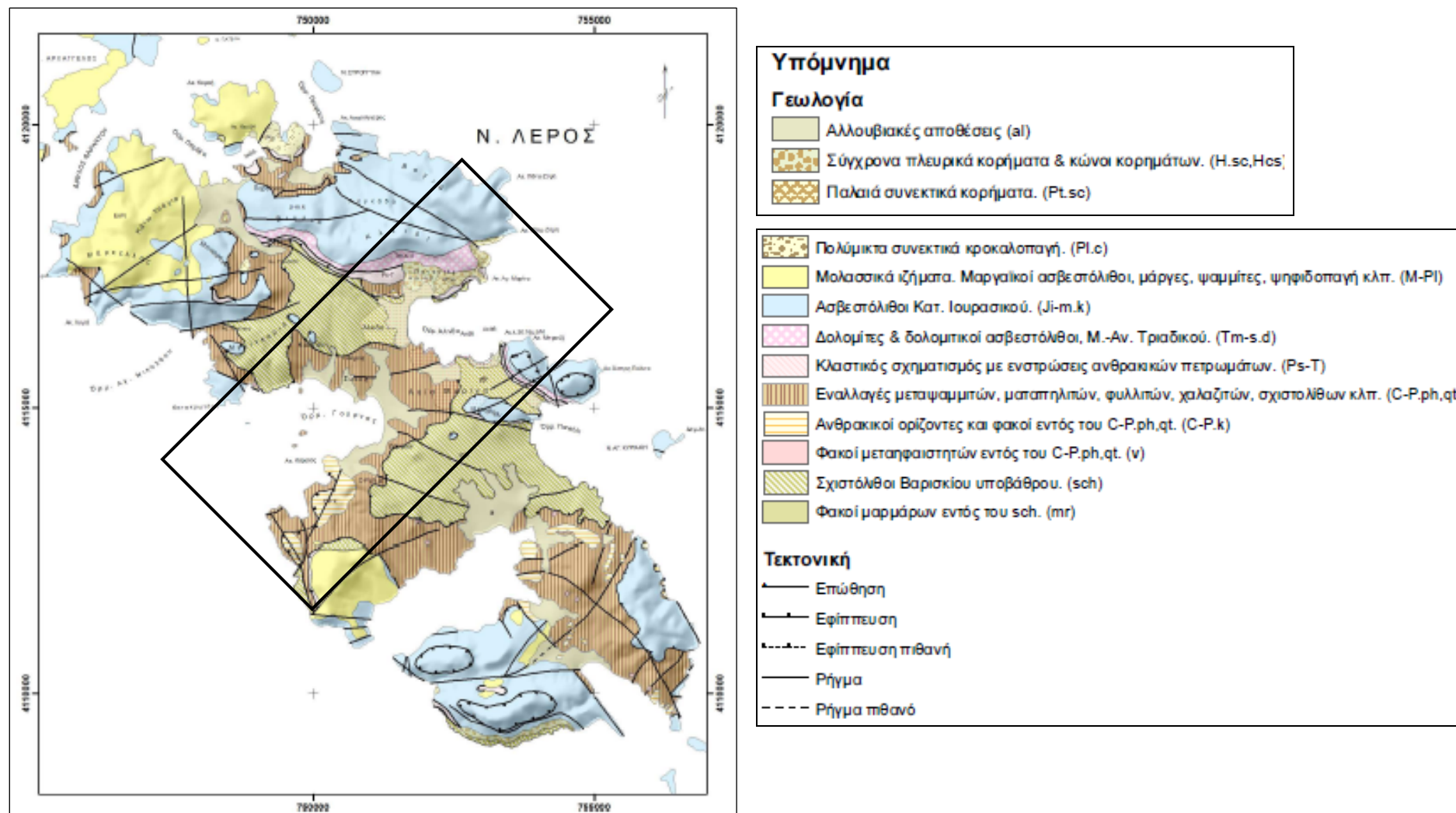
## 5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 5.1 Παλαιογεωγραφία.

Σύμφωνα με τον γεωτεκτονικό χάρτη, που έχει προταθεί απ' τον Μουντράκη (1983), η Ν. Λέρος ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη της υποπελεγονικής (Εικ. 5.1) και χαρακτηρίζεται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου και τα ημιμεταμορφωμένα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης σχηματισμού, του Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου - Περμιού (Εικ. 5.2).



Εικόνα 5.1: Ο γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων ζωνών. Sp: υποπελαγονική ζώνη (Μουντράκης et al, 1983).

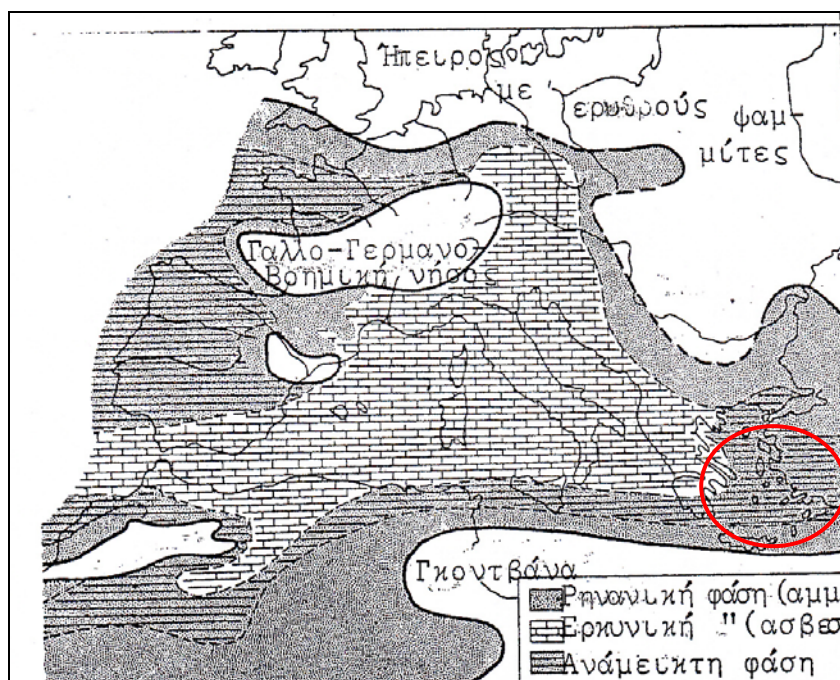


Εικόνα 5.2: Ο γεωλογικός χάρτης της Νήσου Λέρου (κατά Γερολυμάτο et al, 1991). Με μαύρο περίγραμμα το κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου.

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Εικ. 5.2 - Γερολυμάτο et al., 1991), τα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), λόγω της βαρίσκιας μεταμόρφωσης, που έχουν υποστεί, είναι παλαιότερα από την βαρίσκια ορογένεση και το μεγαλύτερο τμήμα τους είναι επωθημένο επί των νεοπαλαιοζωικών σχηματισμών (*C-P.ph,qt*) (Εικ. 5.5).

Η βαρίσκια ορογένεση ανήκει στο Ανώτερο Παλαιοζωικό. Είχε διάρκεια περίπου 150εκ. χρόνων και υποδιαιρείται σε τρεις περιόδους ή συστήματα: το Δεβόνιο, το Λιθανθρακοφόρο και το Πέρμιο (Τσαϊλά Μονόπωλη, 1997). Η κάθε μια περίοδος ή σύστημα υποδιαιρείται σε φάσεις.

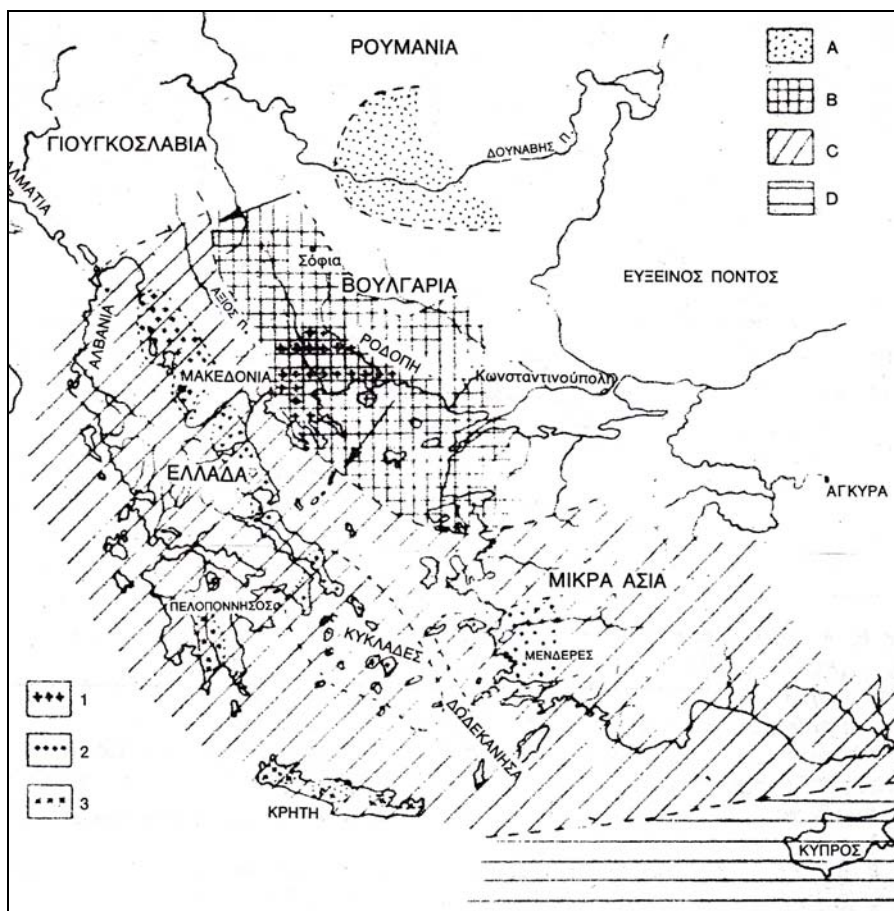
Στο Κατώτερο Δεβόνιο, δημιουργήθηκε το Βαρίσκιο γεωσύγκλινο και χωρίζεται σε δύο χαρακτηριστικές ζώνες φάσεων: α) η Ρηνανική φάση με αμμώδη και αργιλικά ιζήματα, που περιέχουν βραχυπόδα και ελασματοβράχια και β) η Ερκύνια φάση, με ασβεστόλιθους και αργίλους, που περιέχουν ελασματοβράχια με λεπτό κέλυφος, λεία βραχυπόδα, κεφαλόποδα και τραπεζοειδή. Σύμφωνα με την εικόνα 5.3, που ακολουθεί, οι δύο παραπάνω φάσεις έδρασαν ταυτόχρονα στην νοτιοανατολική Ελλάδα. Άρα, η μεταμόρφωση των πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου της Λέρου, ξεκίνησε στο Κατώτερο Δεβόνιο.



**Εικόνα 5.3:** Παλαιογεωγραφία και πετρογραφικές φάσεις στην Ευρώπη κατά το Κατ. Δεβόνιο (Φρυδάς, 2006).

Επίσης, σύμφωνα με τον Κατσικάτσο (1992), οι προαλπικοί μεταμορφωμένοι σχηματισμοί, του ελλαδικού χώρου, προήλθαν απ' τον Ερκύνιο ή Βαρίσκιο ορογενετικό κύκλο, που έλαβε χώρα απ' το Μέσο Δεβόνιο έως το Πέρμιο. Κατά την διάρκεια του κύκλου αυτού, αφού

δημιουργήθηκε το ερκύνιο γεωσύγκλινο, με την Ερκύνια ορογένεση, δημιουργήθηκαν οι Ερκύνιες οροσειρές, οι οποίες τροφοδότησαν με κλαστικά ιζήματα μεγάλου πάχους, την επιπειρωτική νεοπαλαιοζωική θάλασσα, που είχε δημιουργηθεί (Εικ.5.4).



**Εικόνα 5.4:** Σχηματικός χάρτης της εξάπλωσης της Θάλασσας κατά το Λιθανθρακοφόρο και Πέρμιο στη Νότια Βαλκανική (Κατά J. BRUNN, 1960).

Τέλος, ο Κ. Κτένας (1924) διέκρινε τρία συστήματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων, στην περιοχή του Αιγαίου, ανάλογα με τον βαθμό μεταμόρφωσης τους, που από τα κάτω προς τα πάνω είναι: Α) Το Σύστημα Μ1, το οποίο αποτελείται από γνευσίους, από μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους και μάρμαρα, από εκλογίτες και αμφιβολιτικούς σχιστολίθους. Σ' αυτό μπορεί να ενταχθεί ο γεωλογικός σχηματισμός των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), ο οποίος σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της νήσου Λέρου (Εικ.5.2 - Γερολυμάτο et al., 1991) αποτελείται απ' τα παραπάνω πετρώματα. Β) Το Σύστημα Μ2, το οποίο αντιπροσωπεύεται από μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, φυλλιτικούς γνευσίους, σερικιτοχλωριτικούς σχιστόλιθους και σιπολινομάρμαρα. Σ' αυτό μπορεί επίσης να ενταχθεί ο γεωλογικός σχηματισμός του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*).

Γ) Το Σύστημα M3, το οποίο αποτελείται από ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (σερικιτικούς - χλωριτικούς χαλαζίτες, φυλλίτες με κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους κ.α). Σ' αυτό μπορεί να ενταχθεί ο γεωλογικός σχηματισμός των ημιμεταμορφωμένων μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (*C-P.ph,qt*), ο οποίος σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της Ν. Λέρου (Εικ.5.2-Γερολυμάτο et al., 1991), αποτελείται κυρίως από φυλλίτες, χαλαζίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους και κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα.

Η επιπειρωτική νεοπαλαιοζωική θάλασσα, όπως αναφέραμε παραπάνω, γίνεται η έδρα μιας κλαστικής ιζηματογένεσης κατά το Λιθανθρακοφόρο, το Πέρμιο και το Κατώτερο Τριαδικό. Πρόκειται για την επιμήκη θαλάσσια περιοχή, που από μερικούς ερευνητές ονομάζεται Περμική Τηθύς (Κατσικάτσος, 1992).

Κατά την περίοδο αυτή, στο χώρο των μετέπειτα Εσωτερικών ζωνών, αποτίθενται τεράστιες ποσότητες κλαστικών σχηματισμών, νεοπαλαιοζωικής - κατωτριαδικής ηλικίας, τις οποίες, σήμερα, συναντούμε σε πολλές θέσεις των ζωνών αυτών. Στην πελαγονική ζώνη π.χ , εμφανίζονται πετρώματα Περμοτριαδικής ηλικίας, τα οποία μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες χαμηλής πρασχινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης (Μουντράκης, 2010). Στη Λέρο συναντάμε τον κλαστικό σχηματισμό, με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*), τα οποία αποτελούνται από μεταπηλίτες και μεταψαμμίτες και μετακροκαλοπαγή. Διακρίνονται επίσης απ' το χαρακτηριστικό ιώδες χρώμα και το χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης, που, ανήκουν σε μια γλαυκοφανητική - πρασχινοσχιστολιθική φάση, σύμφωνα με τον Καταγά (1974), (Εικ. 5.5).

Κατά την διάρκεια του Μέσου και κυρίως κατά το Ανώτερο Τριαδικό, ο χώρος των Εσωτερικών ζωνών διαφοροποιείται. Η περιοχή της Πελαγονικής ζώνης εξελίσσεται σε μια τεράστια πλατφόρμα, στην οποία αρχίζει μία ανθρακική ιζηματογένεση, η οποία συνεχίζεται σ' ολόκληρο το Ιουρασικό (Κατσικάτσος, 1992).

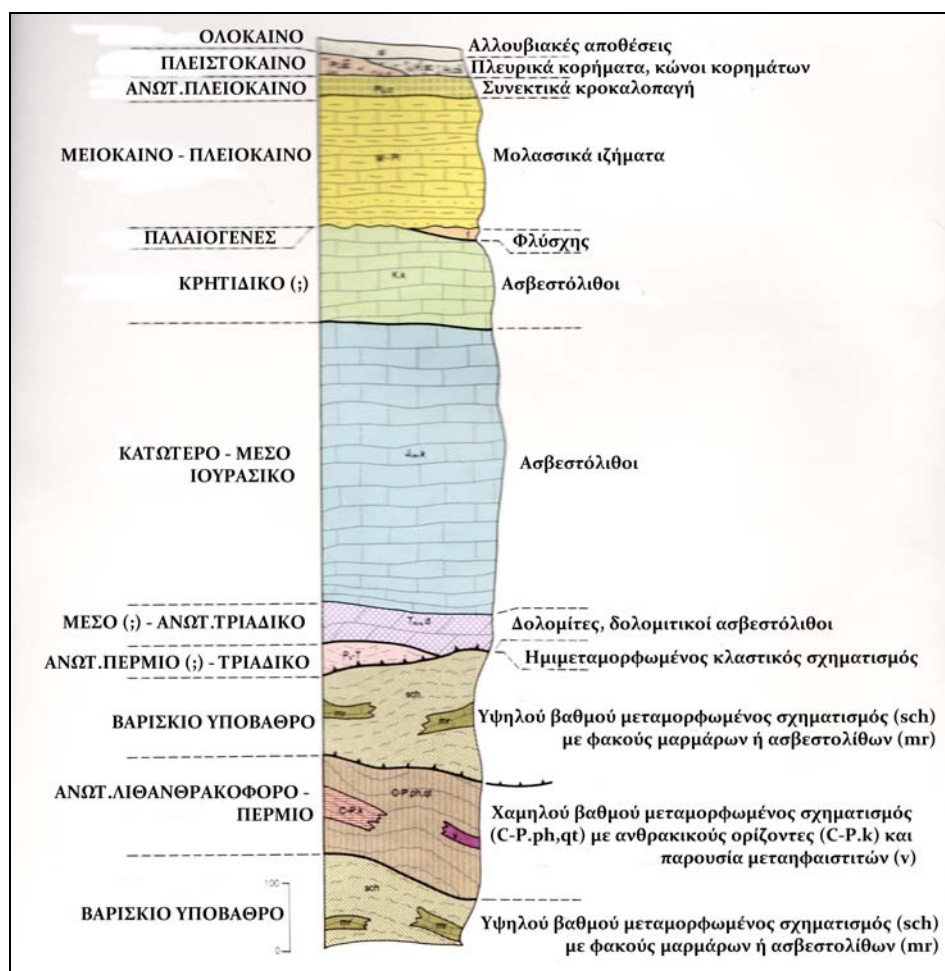
Το σύνολο των ανθρακικών πετρωμάτων της πλατφόρμας της Πελαγονικής συνηθίστηκε να ονομάζεται «Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής». Πρόκειται για δύο ξεχωριστά καλύμματα, που αποτέθηκαν στο ανατολικό και δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής, στο οποίο (δυτικό) βρίσκεται η υποπελαγονική ζώνη. Το δυτικό κάλυμμα είναι αυτόχθονο και αποτέθηκε από το Μέσο Τριαδικό - Άνω Ιουρασικό, πάνω στα μετακλαστικά ιζήματα Περμίου - Κάτω Τριαδικού.

Έτσι λοιπόν, τμήμα του ανθρακικού καλύμματος, πιθανόν να αντιπροσωπεύεται στη Ν. Λέρο από τους δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους Μέσης - Ανώτερης Τριαδικής ηλικίας (*Tm-s.d*) και από τους ασβεστόλιθους Κατώτερης - Μέσης Ιουρασικής ηλικίας (*Ji-m.k*). Αυτά, μαζί με τα μεταϊζήματα της Περμοτριαδικής ηλικίας, επωθήθηκαν επί των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (Εικ. 5.5). Κατά την διάρκεια του Μέσου - Ανώτερου Μειοκαίνου, πλην του Μεσσηνίου, σχεδόν ολόκληρος ο ελλαδικός χώρος

χέρσευε και αποτελούσε με την Μικρή Ασία, που επίσης χέρσευε, μια ενιαία ξηρά. Η θάλασσα, κατά την περίοδο αυτή, είχε αποσυρθεί νότια της Κρήτης και των Δωδεκανήσων, άρα τα μολασσικά ιζήματα (*M-Pl*) της νήσου Λέρου, τα οποία βρίσκονται σε επικλυσιογενή επαφή με τους υποκείμενους ανωπαλαιζωικούς - μεσοζωικούς σχηματισμούς (Εικ. 5.5) είναι νεότερης ηλικίας, δηλαδή Πλειοκαινικής.

Κατά την περίοδο του Πλειοκαίνου, λόγω των εφελκυστικών τάσεων, που επικρατούσαν στο εσωτερικό ελλαδικό χώρο, η ανάδραση παλιών ρηγμάτων και η δημιουργία νέων προκάλεσαν καταβυθίσεις τεμαχίων στο Αιγαίο, με αποτέλεσμα την εκτεταμένη επίκλυση της θάλασσας στο χώρο αυτό (Κατσικάτσος, 1992). Επίσης, στη βάση των μολασσικών ιζημάτων (*M-Pl*) επικρατούν ψαμμιτικά ερυθρού - φαιού χρώματος στρώματα, τα οποία θεωρούμε ότι είναι χερσαίας φάσης του Μειοκαίνου.

Τέλος, πάνω στα μολασσικά ιζήματα (*M-Pl*), έχουν αποτεθεί με κανονική επαφή τα πολύμικτα συνεκτικά κροκαλοπαγή, χερσαίας προέλευσης (*Pls.c*), (Εικ. 5.5) και στην συνέχεια ακολουθούν τα ιζήματα Πλειστοκαινικής και Ολοκαινικής ηλικίας (Εικ. 5.5).



Εικόνα 5.5: Στρωματογραφική στήλη της Ν. Λέρου (Σταυρόπουλος & Γερολυμάτος, 1999).

## 5.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της νήσου Λέρου γίνεται με βάση το υπόμνημα του γεωλογικού φύλλου του ΙΓΜΕ (Ν. ΛΕΡΟΣ - ΚΕΙΝΟΣ - ΛΕΒΙΘΑ) και αντιπροσωπεύεται από τρεις κυρίες κατηγορίες: α) πετρώματα του προαλπικού υποβάθρου, β) αλπικά πετρώματα και γ) μεταλλικά πετρώματα.

### 5.2.1 Προαλπικοί σχηματισμοί.

Στα προαλπικά πετρώματα ανήκουν: α) τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), β) ο ημιμεταμορφωμένος μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης σχηματισμός (*C-P.ph.qt*), που η ηλικία του κυμαίνεται απ' το Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο έως το Πέρμιο και γ) ο κλαστικός σχηματισμός με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*), που η ηλικία του κυμαίνεται από το Πέρμιο (;) έως Τριαδικό (Εικ. 5.13).

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*) αποτελούνται από εναλλαγές διμαρμαρυγιακών σχιστολίθων, γρανατικών - μαρμαρυγιακών σχιστολίθων με κυανίτη, μοσχοβιτικών - γρανατικών σχιστολίθων, αμφιβολιτών, αμφιβολιτικών - χλωριτικών σχιστολίθων, αμφιβολιτικών - βιοτικών - ασβεστολιθικών σχιστολίθων, γνευσίων, καθώς και από μικρές εμφανίσεις ανθρακικών πετρωμάτων, με τη μορφή φακών μαρμάρων ή ασβεστοσχιστολίθων (*mr*) (Εικ. 5.6, Εικ 5.7). Τα σπουδαιότερα ορυκτά μεταμόρφωσης του βαρίσκιου κύκλου στα μεταϊζήματα είναι: αλμανδίνης, μοσχοβίτης, βιοτίτης, κυανίτης, σταυρόλιθος, και πράσινη κεροσίλβη. Τα πετρώματα της ενότητας αυτής είναι έντονα πτυχωμένα και κατά ζώνες έχουν υποστεί έντονη μυλονιτώση. Επίσης, όσον αφορά τους γρανάτες, εκτός από τον αλμανδίνη, εμφανίζεται σε μικρότερη ποσότητα ο σπεςσαρτίνης, ο γροσσουλάριος και το πυρωπό (Καταγάς, 1980).

Η συμμετοχή των αμφιβολιτών στην ενότητα αυτή είναι σημαντική και τα πάχη τους κυμαίνονται από μερικά μέχρι και 20m. Οι πλέον ενδιαφέρουσες μορφές αμφιβολιτικών σωμάτων είναι οι φακοειδείς, στις οποίες το πέτρωμα είναι έντονα συμπαγές, με ιστό χωρίς προσανατολισμό (εκλογιτικά σώματα). Συχνή είναι η παρουσία χαλαζιακών φλεβών και παρείσακτων κοιτών χαλαζία.

Τέλος, τα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), ή εφάπτονται με τον υπερκείμενο ημιμεταμορφωμένο μέχρι χαμηλού βαθμού σχηματισμό (*C-P.ph.qt*) με τεκτονική επαφή ή ο ημιμεταμορφωμένος σχηματισμός επωθείται επί των σχιστόλιθων του βαρίσκιου υποβάθρου (Εικ. 5.5).

Ο ημιμεταμορφωμένος μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης σχηματισμός (*C-P.p.qt*), που η ηλικία του κυμαίνεται απ' το Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο έως το Πέρμιο, αποτελείται από εναλλαγές μεταψαμιτών, μεταπηλιτών, φυλλιτών, χαλαζιτών, χαλαζιακών - μαρμαρυγιακών



σχιστολίθων και κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων (Εικ. 5.8), ενώ λιγότερη συχνή είναι η παρουσία μεταηφαιστίτων (*v*) ενδιάμεσης βασικότητας (ή γλαυκοφανητικοί σχιστόλιθοι σύμφωνα με τον Καταγά, 1980). Επίσης, το πάχος των ανθρακικών οριζόντων και φακών (*C-P.k*) είναι κατά κανόνα πολύ μικρό (5-20cm), αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει μέχρι 40m (Εικ. 5.9). Αυτοί συνίστανται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, μαύρου έως λευκού χρώματος, οι οποίοι έχουν κατά τόπους υποστεί, έντονη δολομιτίωση, πυριτίωση, αγκεριτίωση και λειμονιτίωση. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού φτάνει τα 200m.

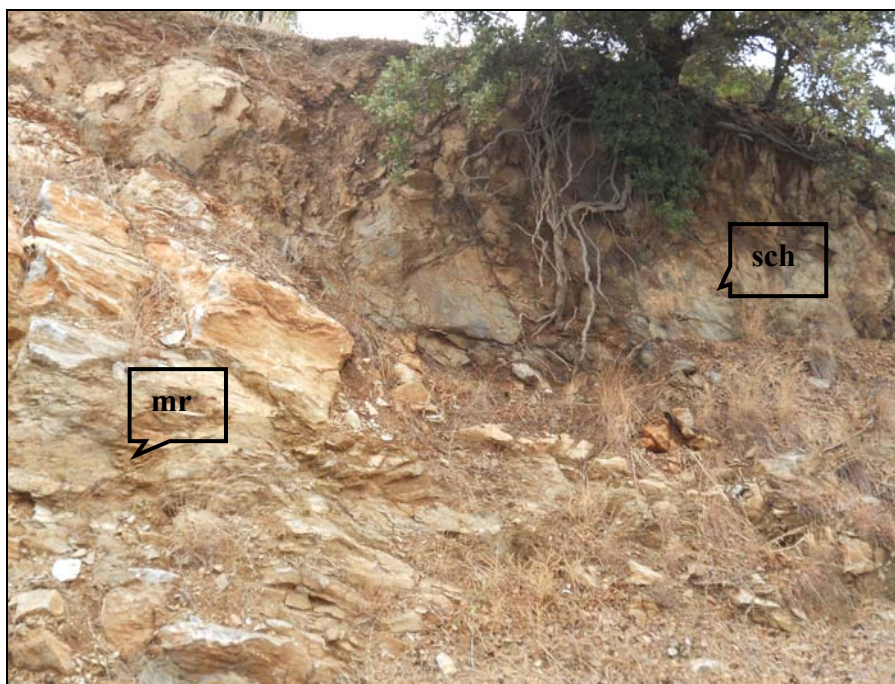


**Εικόνα 5.6:** Μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (sch).

Συχνή είναι η παρουσία φλεβών και παρείσακτων κοιτών χαλαζία (Εικ. 5.8). Τοπικά παρατηρείται έντονη πτύχωση με κλειστές πτυχές. Στα μεταίζηματα, τα ορυκτά της κύριας μεταμόρφωσης είναι: χαλαζίας, λευκός μαρμαρυγίας, χλωρίτης, πυροφυλλίτης και χλωριτοειδής, ενώ τα ορυκτά της ανάδρομης μεταμόρφωσης είναι: αλβίτης, οξυχλωρίτης, τουρμαλίνης, ανθρακικά ορυκτά και ενώσεις του σιδήρου. Εμφανίζεται συμπαγής και διάσπαρτη σιδηρούχα μεταλλοφορία μαγνητίτη - αιματίτη - υδροαιματίτη - λειμονίτη, η οποία αναπτύσσεται σε τεκτονικές ζώνες.

Οι ενδιάμεσης βασικότητας μεταηφαιστίτες, της ενότητας αυτής, παρουσιάζονται με την μορφή μικρών σωμάτων και διατηρούν ίχνη του αρχικού οφειτικού ιστού και της ρευστικής τους υφής, ενώ τα πρωτογενή ορυκτά έχουν αντικατασταθεί πλήρως από νέα. Τα ορυκτά της κύριας μεταμόρφωσης στους μεταηφαιστίτες είναι: κροσσίτης, Mg-ριμπεκίτης, αλβίτης, αραγονίτης, λευκός μαρμαρυγίας και ορυκτά της ομάδας του επιδότου. Οι μεταηφαιστίτες, όταν

βρίσκονται μέσα σε τεκτονικές ζώνες, αποτελούνται από χλωρίτη, συνοδευμένος από χαλαζία, σερικήτη, ασβεστίτη και Ti-ούχα ορυκτά της ανάδρομης μεταμόρφωσης.



**Εικόνα 5.7:** Μεταμορφωμένα πετρώματα Βαρίσκιου υποβάθρου (sch) με εμφάνιση φακών μαρμάρων (mr).



**Εικόνα 5.8:** Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (C-P.p,qf) με κοίτες χαλαζία (μαύρα βελάκια).

Ο κλαστικός σχηματισμός με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*) χαρακτηρίζεται απ' το ιώδες χρώμα του (Εικ. 5.10), απ' το χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης, απ' τις κατά κανόνα πυκνές εναλλαγές διαφορετικών λιθοτύπων (μεταψαμμίτες, μεταπηλίτες, μετακροκαλοπαγή μεταλατυποπαγή και ανακρυσταλλωμένα πυριτιωμένα - αγκεριτιωμένα ανθρακικά πετρώματα, κυρίως στα ανώτερα μέρη) και απ' την έντονη μυλονιτίωση με κατακλαστικά φαινόμενα.

Τα ανώτερα τμήματα του αντιπροσωπεύονται από ένα μεταβατικό προς ανθρακικά πετρώματα σχηματισμό, στον οποίο επικρατούν έντονα παραμορφωτικά φαινόμενα και δευτερογενείς φυσικοχημικές μεταβολές (πυριτίωση, αγκεριτίωση, δολομιτίωση). Αυτά αντιπροσωπεύουν ένα μεταβατικό ορίζοντα προς την μεσοζωική ανθρακική ακολουθία.

Τα ορυκτά μεταμόρφωσης στα μεταϊζήματα είναι χαλαζίας, φυλλοπυριτικά ορυκτά, χλωριτοειδής, αλβίτης και τουρμαλίνης, τα οποία χαρακτηρίζουν το πεδίο μετάβασης από την πολύ χαμηλή προς τη χαμηλή φάση μεταμόρφωσης. Το πάχος του σχηματισμού εκτείνεται μέχρι 40m.

Τέλος, ο κλαστικός σχηματισμός με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*), εφάπτεται με τεκτονική επαφή με τους δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, ενώ επωθείται μαζί με όλη την ανθρακική ακολουθία (αλπικά ιζήματα) πάνω στους παλαιοζωικούς σχηματισμούς (sch, C-P.p,qt) (Εικ. 5.5).



**Εικόνα 5.9:** Κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα (C-P.k).



**Εικόνα 5.10:** Κλαστικός σχηματισμός (Ps-T), με το χαρακτηριστικό ιώδες χρώμα και ο μεταβατικός χαρακτήρας (κίτρινο χρώμα) προς τα ανθρακικά πετρώματα.

### 5.2.2 Αλπικοί σχηματισμοί.

Στους αλπικούς σχηματισμούς ανήκουν: α) οι δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι Μέσης (:) - Ανώτερης Τριαδικής ηλικίας (*Tms-d*) και β) οι ασβεστόλιθοι Κατώτερης - Μέσης Ιουρασικής ηλικίας (*Ji-mK*), (Εικ 5.13).

Οι δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι Μέσης (:) - Ανώτερης Τριαδικής ηλικίας (*Tms-d*) είναι μαύροι - τεφρόμαυροι, στρωματοειδείς, λεπτοκρυσταλλικοί και με μέγιστο πάχος εμφάνισης 60m.

Οι ασβεστόλιθοι Κατώτερης-Μέσης Ιουρασικής ηλικίας (*Ji-mK*) είναι τεφροί - τεφρόμαυροι μέχρι και μαύροι, καθώς και λευκοί κρυσταλλικοί, λεπτο-μεσοστρωματώδεις μέχρι και άστρωτοι, κατά τόπους έντονα δολομιτιωμένοι και περιλαμβάνουν λατυποπαγείς ορίζοντες (πάχος 20-40cm) μ' έντονα παραμορφωμένες λατύπες ανθρακικής σύστασης (Εικ. 5.11) .

Ακόμα, οι υπάρχουσες διακλάσεις - διαρρήξεις έχουν πληρωθεί από λεπτοκρυσταλλικό ή μεσοκρυσταλλικό σιδηρούχο ασβεστίτη ( $\text{FeCO}_3$ ). Η εκτίμηση του πραγματικού πάχους του σχηματισμού αυτού είναι δύσκολη, λόγω των συχνών τεκτονικών επαναλήψεων, αλλά εκτιμάται το μέγιστο πάχος 450m.

### 5.2.3 Μεταλπικοί σχηματισμοί.

Στους μεταλπικούς σχηματισμούς ανήκουν: α) τα μολασσικά ιζήματα Μειόκαινης - Πλειοκαινικής ηλικίας (*M-Pl*), β) τα παλαιά συνεκτικά κορήματα Πλειστοκαινικής ηλικίας

(*Pt.sc*), γ) τα πολύμικτα συνεκτικά κροκαλοπαγή (*Pls.c*), δ) τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα (*H.sc*), ε) τους χαλαρούς κώνους κορημάτων (*H.cs*) και στ) τις αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας (*al*), τα οποία εφάπτονται μεταξύ τους με κανονικές επαφές (Εικ. 5.5, Εικ. 5.13).



**Εικόνα 5.11:** Ασβεστόλιθοι Κατώτερης - Μέσης Ιουρασικής ηλικίας (Ji-mK).

Τα μολασσικά ιζήματα Μειοκαινικής - Πλειοκαινικής ηλικίας (*M-Pl*), αποτελούνται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες, ψαμμίτες και από ψηφιδοπαγή. Κάτω απ' αυτά τα ιζήματα βρίσκεται ένας λεπτοστρωματώδης σχηματισμός, στον οποίον επικρατούν ψαμμιτικά ερυθρού - φαιού χρώματος στρώματα, σε πυκνές εναλλαγές, με μαργαϊκά κίτρινου - φαιοκίτρινου χρώματος (Εικ. 5.12).

Τα ανώτερα μέλη αυτού αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις κιτρινωπούς και φαιούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι κατά τόπους είναι πυριτιωμένοι και δολομιτιωμένοι και φέρουν σπάνια κονδύλους πυριτιολίθων. Το πάχος του σχηματισμού εκτιμάται μέχρι 200m και εφάπτονται με επικλυσιογενή επαφή με τους υποκείμενους παλαιοζωικούς και μεσοζωικούς σχηματισμούς (Εικόνα 5.5)

Τα πολύμικτα συνεκτικά κροκαλοπαγή Ανώτερης Πλειοκαινικής ηλικίας (*Pls.c*), αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας προέλευσης με έντονα αποστρογγυλωμένες ψηφίδες και κροκαλοπαγή (μεγέθους μέχρι 10cm), που είναι συγκολλημένα με ερυθρού χρώματος ψαμμιτικό συνδετικό υλικό. Οι κλάστες προέρχονται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, τεφρόμαυρους μέχρι μαύρους, κρητιδικής ηλικίας, από χαλαζίτες, από ερυθρούς ψαμμίτες, από

μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και από βυσσινόχρωμους ψαμμίτες του Περμίου. Το μέγιστο πάχος τους εκτείνεται μέχρι 40m πάχος.

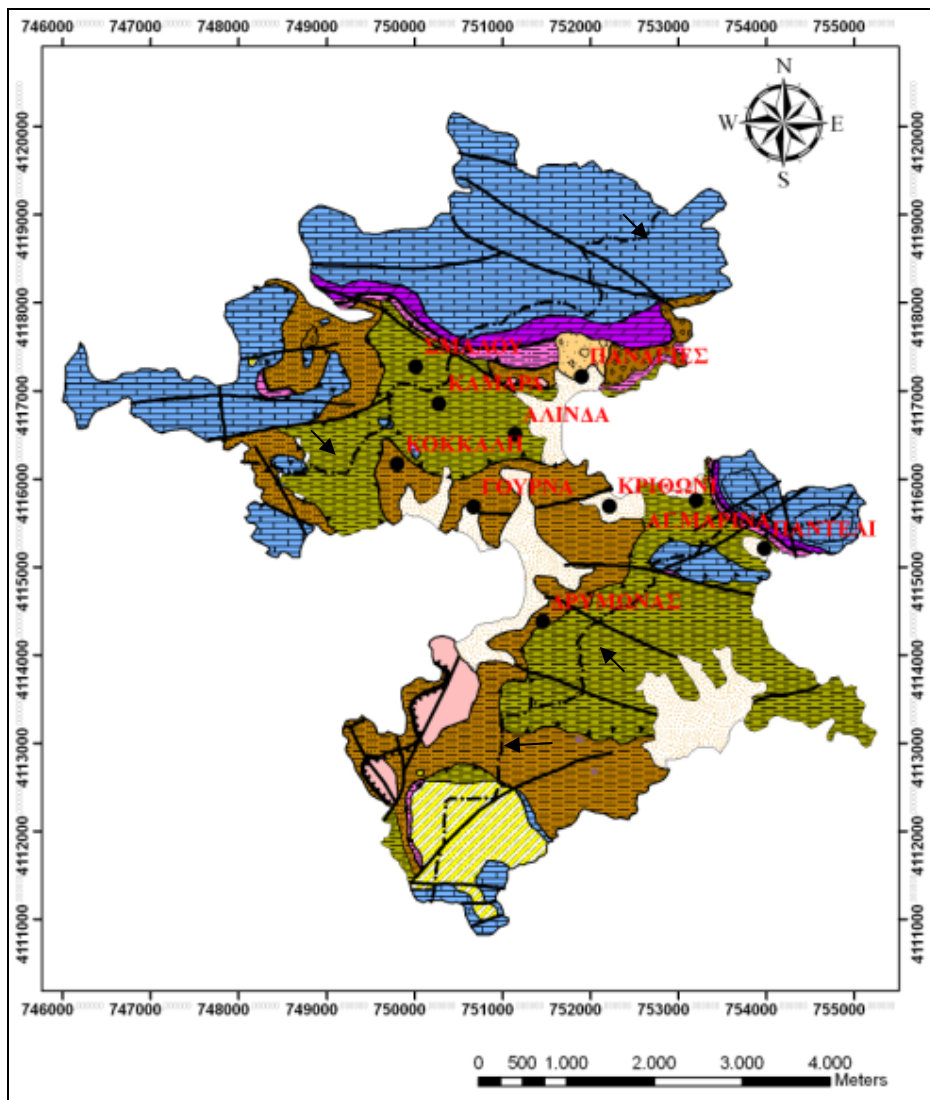


**Εικόνα 5.12:** Ψαμμιτικά στρώματα ερυθρού χρώματος, τα οποία βρίσκονται στην βάση των μολασσοικών ιζημάτων (M-PI).

Τα παλαιά συνεκτικά κορήματα, Πλειστοκαινικής ηλικίας (*Pt.sc*), αποτελούνται από θραύσματα (1-50cm) τεφρών - τεφρόμαυρων κρυσταλλικών ασβεστολίθων, συγκολλημένα με αργιλοασβεστιτική συνδετική ύλη, φαιού συνήθως χρώματος.

Τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα (*H.sc*) και οι χαλαροί κώνοι κορημάτων (*H.cs*) αναπτύσσονται στις πλαγιές ασβεστολιθικών κυρίως όγκων και αποτελούνται από λατύπες ποιλίκου μεγέθους, ενώ οι αλλουβιακές αποθέσεις, Ολοκαινικής ηλικίας (*al*), αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκάλες και λατύπες, σε περιοχές των κοιλάδων και σε παράκτιες περιοχές.

Τέλος, όλα τα παραπάνω πετρώματα παρουσιάζονται σε όλη την έκταση του νησιού, στον γεωλογικό χάρτη που εμφανίστηκε προηγουμένως (Εικ. 5.2, Γερολυμάτο et al., 1991). Στον γεωλογικό χάρτη, που ακολουθεί (Εικ. 5.13), προβάλλονται μόνο τα πετρώματα του κεντρικού τμήματος της νήσου Λέρου, το οποίο οροθετείται από τους δύο υδροκρίτες (μαύρα βέλη).



**Εικόνα 5.13:** Ο γεωλογικός χάρτης του κεντρικού τμήματος του νησιού

(ψηφιοποιημένο απόσπασμα από το γεωλογικό φύλλο του ΙΓΜΕ). ΦΥΛΛΟ - Ν. ΛΕΒΙΘΑ, ΚΙΝΑΡΟΣ, ΛΕΡΟΣ 1:50.000, (Γερολυμάτος και Σταυρόπουλος, 1999).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
●	Χωρία
—•—•—•—	Υδροκρίτης
ΛΙΘΟΛΟΓΙΕΣ	
	Σχιστόλιθοι βαρίσκιου υποβάθρου (sch) με την εμφάνιση ανθρακικών πετρωμάτων με την μορφή φακών μαρμάρων ή ασβεστοσχιστολίθων (mr).
	Εναλλαγές μεταψαμμιτών, μεταπηλιτών, φυλλιτών, χαλαζιτών, και σχιστολίθων του Ανωτ.Λιθανθρακοφόρου-Πέρμιου (C-P.ph,qt).
	Ανθρακικοί ορίζοντες και φακοί εντός του C-P.ph,qt του Ανωτ.Λιθανθρακοφόρου-Πέρμιου (C-P.k).
	Φακοί μεταψαιστητών εντός του C-P.ph,qt του Ανωτ.Λιθανθρακοφόρου-Πέρμιου (v)
	Κλαστικός σχηματισμός με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων του Αν Πέρμιου (-)-Τριαδικού (Ps-T).
	Δολομίτες & δολομιτικοί ασβεστόλιθοι του Μ.-Αν. Τριαδικού (Tm-s.d).
	Ασβεστόλιθοι του Κατ. Ιουρασικού (Ji-m.K).
	Μολασσικά ιζήματα Μειοκαινικής-Πλειοκαινικής ηλικίας: Μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, μάργες, ψαμμίτες, ψηφιδοπαγή (M-Pl).
	Παλαιά συνεκτικά κορήματα Πλειστοκαινικής ηλικίας (Pt.sc).
	Σύγχρονα πλευρικά κορήματα & κώνοι κορημάτων Ολοκαινικής ηλικίας (H.sc, Hes).
	Αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας (al).
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	
	Επώθηση
	Ρήγμα ή Τεκτονική επαφή
	Εφίπλευση.

### 5.3 Τεκτονική δομή.

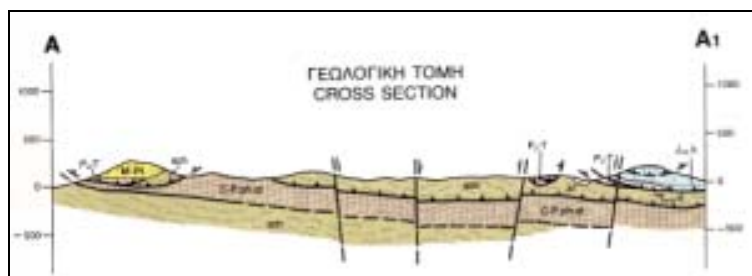
Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε, το κεντρικό τμήμα του νησιού, το οποίο έχει οροθετηθεί με τον βόρειο και τον νότιο υδροκρίτη, χαρακτηρίζεται από την επώθηση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*) επί των ημιμεταμορφωμένων πετρωμάτων (*C-P.ph,qt*), τα οποία βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, δηλαδή στις περιοχές Γούρνα, Συκέα, Κριθώνι, Κόκκαλη (Εικ.5.13)

Ειδικότερα, στο βόρειο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, εκτός από την προηγούμενη επώθηση, παρατηρείται μια επώθηση των ασβεστόλιθων (*Ji-mK*), επί των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (Εικ. 5.15).

Στο νοτιοδυτικό μέρος της περιοχής μελέτης παρατηρείται η εφίπλευση των κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων (*C-P.k*) επί των ημιμεταμορφωμένων πετρωμάτων (*C-P.ph,qt*). Επίσης, στο νοτιοδυτικό τμήμα, τα μολλασικά ιζήματα έρχονται σε επαφή με τα κρυσταλλικά ανθρακικά πετρωμάτων (*C-P.k*) και με τα μεταμορφωμένα του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), με επικλυσιγενή επαφή, τα οποία επωθούνται πάνω στα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (*C-P.ph,qt*) (Εικ. 5.14).

Στο βορειοανατολικό (περιοχές: Σμαλού, Καμάρα, Άλιντα και Παναγίες) και στο νοτιοανατολικό τμήμα (περιοχές: Αγ. Μαρίνα και Παντέλι) έχουμε την επώθηση της στρωματογραφικής ενότητας, που αποτελείται από τον κλαστικό σχηματισμό με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*), από τους δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους (*Tms-d*) και από τους ασβεστόλιθους (*Ji-mK*), επί των πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου, αλλά και στα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (*C-P.ph,qt*), τα οποία είναι μικρής έκτασης στο βόρειο τμήμα (Εικ. 5.13).

Επίσης, μεταξύ των δολομιτών, δολομιτικών ασβεστόλιθων (*Tms-d*) και ασβεστόλιθων (*Ji-mK*) υπάρχει κανονική επαφή, ενώ ο κλαστικός σχηματισμός (*Ps-T*) εφάπτεται με τεκτονική επαφή με τους δολομίτες-δολομιτικούς ασβεστόλιθους (*Tms-d*) (Εικ. 5.14). Τέλος, εντοπίζονται δύο συστήματα κανονικών ρηγμάτων, ΒΔ - ΝΑ/κής, και Α - Δ, διεύθυνσης (Εικ. 5.13).

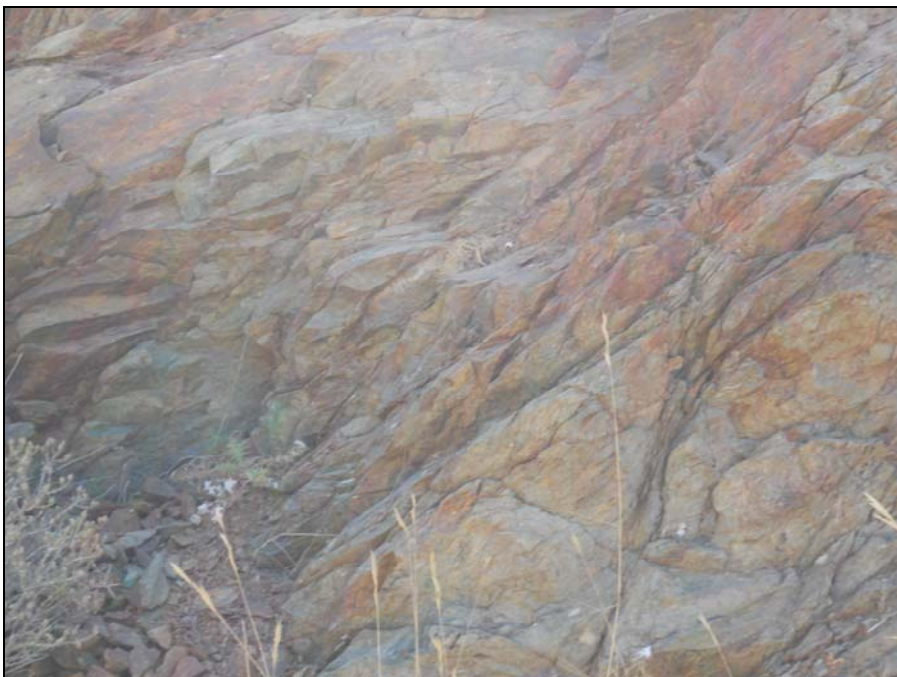


**Εικόνα 5.14:** Γεωλογική τομή A-A1, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Γερολυμάτος και Σταυρόπουλος, 1999).





**Εικόνα 5.15:** Η επώθηση των ασβεστόλιθων (μαύρα βελάκια) επί των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκιου υποβάθρου (sch), όπου στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 5.16) παρουσιάζονται οι υποκείμενοι σχιστόλιθοι της επώθησης.



**Εικόνα 5.16:** Σχιστόλιθοι του βαρίσκιου υποβάθρου (sch).

## 6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 6.1 Υδρολιθολογία - Υδρογεωλογικά Περιβάλλοντα.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, σε ό,τι αφορά τα υδρολιθολογικά τους χαρακτηριστικά, μπορούν να ταξινομηθούν, με βάση την περατότητα τους σε υδροπερατούς, πρακτικά αδιαπέρατους έως ημιπερατούς και ημιπερατούς σχηματισμούς (Εικ. 6.1, Πίνακας 6.1).

#### - Υδροπερατοί σχηματισμοί.

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ανθρακικοί σχηματισμοί [ασβεστόλιθοι (*Ji-m.k*), οι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι-δολομίτες (*Tms-d*) καθώς και οι ανθρακικοί ορίζοντες (*C-P.k*)], που συναντώνται είτε ως φακοί είτε ως αυτόνομες στρωματογραφικές ενότητες.

Αυτοί χαρακτηρίζονται σαν πολύ υδροπερατά πετρώματα, λόγω του δευτερογενούς τους πορώδους, όπου σύμφωνα με τον Σούλιο (2010) εμφανίζουν συντελεστή περατότητας  $k=10^{-2}-10^{-6}$  (m/sec), αλλά και με βάση τα συγκριτικά στοιχεία της UNESCO 1984, η υδραυλική αγωγιμότητα (συντελεστής περατότητας- $k$ ), λαμβάνει μεγάλες τιμές, ανάλογα με το άνοιγμα, που υπάρχει ανάμεσα στα τοιχώματα μιας ασυνέχειας. Έτσι λοιπόν, ο δολομίτης εμφανίζει  $k=1,6 \times 10^{-1}$  m/sec, όταν το άνοιγμα των διακλάσεων είναι 6mm, ενώ ο ασβεστόλιθος εμφανίζει  $k=0,5 \times 10^{-1}$  m/sec και  $k=0,7 \times 10^{-6}$  m/sec, όταν το άνοιγμα των διακλάσεων είναι 4mm και 0,1mm, αντίστοιχα (Singhal & Gupta, 1999).

Η έντονη πτυχογόνος και ρηγματογόνος τεκτονική, σε συνδυασμό με την κίνηση του νερού, έχει καταστήσει τα πετρώματα αυτά καρστικοποιημένα και έντονα ρωγματοωμένα, με αποτέλεσμα, να αναπτύσσεται σημαντική υδροφορία στο εσωτερικό των μεσοστρωματικών διακένων, τα οποία σχηματίζονται ανάμεσα στις επιφάνειες στρώσης, που έχουν πτυχωθεί (Καλλέργης, 2000). Επιπλέον, είναι γνωστό, ότι, όσο αυξάνεται το ποσοστό του δολομίτη και όσο πιο κρυσταλλικό εμφανίζεται το πέτρωμα, τόσο μειώνεται η υδροπερατότητα του, εξαιτίας της ελάττωσης του βαθμού καρστικοποίησης. Όμως στην περιοχή μελέτης μας και ειδικότερα στην περιοχή Απεττίκι και Πανάγιες, οι δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι είναι έντονα καρστικοποιημένοι. Τέλος, τα ανθρακικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από ενστρώσεις πυριτόλιθων, οι οποίοι διακόπτουν τον ενιαίο χαρακτήρα του καρστικού υδροσυστήματος (Γιαννουλόπουλος και Λάππας, 2010).

#### - Πρακτικά αδιαπέρατοι έως ημιπερατοί σχηματισμοί.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν, τα χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα (μεταπηλίτες, μεταψαμμίτες, πυριτωμένα ανθρακικά πετρώματα - *Ps-T*) και οι διάφοροι

τύπων σχιστόλιθοι (sch). Τα πετρώματα αυτά, σε γενικές γραμμές, χαρακτηρίζονται ως πρακτικά αδιαπέρατα. Παρόλα αυτά οι διάφορες ανομοιογένειες σε συνδυασμό με την έντονη τεκτονική καταπόνηση και τις ποικίλες παρεμβολές μαρμάρων δημιουργούν τοπικά συνθήκες εκμεταλλεύσιμης υδροφορίας απομονωμένης από τη θαλάσσια διείδυση (Γιαννουλόπουλος & Λαπάς, 2010). Τέλος, ο Σούλιος (2010) εκτιμά, ότι οι διάφοροι τύποι σχιστόλιθων και τα παρεμφερή μεταμορφωμένα πετρώματα έχουν συντελεστή περατότητας  $k=10^{-6}-10^{-9}$  m/sec.

#### **-Ημιπερατοί σχηματισμοί.**

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν: (α) οι αλλουβιακές - παράκτιες αποθέσεις, με συχνές εναλλαγές ψαμμιτικοκροκαλοπαγών και αργιλικών οριζόντων, που μας δίνουν υδροφορία περιορισμένης υδροδυναμικότητας, και ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε λεπτόκοκκα υλικά (άργιλο - ιλύ), παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση στην υδροπερατότητα τους. Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2001), οι τιμές που λαμβάνει η υδραυλική αγωγιμότητα (k) σ' αυτούς τους σχηματισμούς κυμαίνεται από  $10^{-5}$  έως  $10^{-3}$  m/sec για αδρομερή χαλίκια (οπότε και αντιμετωπίζονται ως υδροπερατός σχηματισμός) ενώ για τις ιλυούχες και αργιλικές ζώνες, κυμαίνεται από  $k \leq 10^{-6}$  m/sec.

Επιπλέον, στην κατηγορία αυτή ανήκουν (β) τα πλευρικά κορήματα (H.sc) και (γ) οι χαλαροί κώνοι κορημάτων (H.cs), αλλά λόγω του περιορισμένου πάχους τους και της μικρής τους εξάπλωσης δεν διαμορφώνουν αξιόλογους υδροφόρους ορίζοντες (περιοχή Παναγίες). Τα πλευρικά κορήματα και οι χαλαροί κώνοι αποτελούνται από ασβεστολιθικές λατύπες, ποικίλου μεγέθους. Πρόκειται για κλαστικές αποθέσεις πρόσφατης ηλικίας, οι οποίες δεν μεταφέρθηκαν μόνο από τα ρέοντα νερά, αλλά και από βαρυτική ολίσθηση ή κατάπτωση υπολειμμάτων βράχων λόγω απότομων πρηνών. Επιπλέον, ανατολικά από τις προηγούμενες υδρολιθολογικές ενότητες, τοποθετούνται (δ) τα παλαιά συνεκτικά κορήματα (Pt.sc), που χαρακτηρίζονται από παρόμοια υδρογεωλογική συμπεριφορά. Αυτά βρίσκονται στον πόδα του βουνού Λαγκάδα (νοτιοανατολικά αυτού) και καλύπτουν μια στενή σχετικά λουρίδα, κατά μήκος της ορεινής ζώνης, που τροφοδοτείται απ' τον καρστικό υδροφόρο της ορεινής περιοχής του βουνού.

Επίσης, σημαντική υδροφορία παρουσιάζει (ε) ο αποσαθρωμένος μανδύας, τόσο του ανθρακικού - σχιστολιθικού υποβάθρου, όσο και των υπολοίπων μεταμορφωμένων πετρωμάτων (αμφιβολίτες - sch, μεταπηλίτες, φυλλίτες - χαλαζίτες - C-P.ph,qt). Ανάλογα δε με το πάχος του αλλά κυρίως με τη περιεκτικότητά του σε λεπτόκοκκο υλικό, δύναται να υδροφορεί είτε σημαντικά (οπότε και αντιμετωπίζεται σαν υδροπερατός σχηματισμός με αντίστοιχες τιμές του k) είτε μέτρια με τιμές του συντελεστή περατότητας (k) να κυμαίνεται από  $10^{-6}-10^{-9}$  m/sec (Σούλιος, 2010). Τέλος (στ) οι νεογενείς μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, λόγω του έντονου κατακερματισμού, που έχουν υποστεί, διαμορφώνουν αξιοσημείωτη υδροφορία. Αυτή

η υδρογεωλογική τους συμπεριφορά είναι παρόμοια μ' αυτή των καρστικών ασβεστόλιθων (Καλλέργης, 2001) και η μέση τιμή του συντελεστή περατότητας (k) είναι  $10^{-4} - 10^{-5}$  m/sec (Σούλιος, 2010).

**Πίνακας 6.1:** Ο συντελεστής περατότητας (k) των πετρωμάτων.

<b>1</b>	<b>ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΥΨΗΛΗΣ-ΜΕΣΗΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (<math>10^{-6} \leq k \leq 10^{-2}</math> m/s)</b>	<b>Ji-m.k Tms-d C-P.k, al</b>
<b>2A</b>	<b>ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (<math>10^{-9} \leq k \leq 10^{-6}</math> m/s)</b>	<b>C-P.ph,qt sch</b>
<b>2B</b>	<b>ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (<math>10^{-7} \leq k \leq 10^{-5}</math> m/s)</b>	<b>H.sc Pt.sc</b>
<b>2Γ</b>	<b>ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΣΗΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (<math>10^{-5} \leq k \leq 10^{-4}</math> m/s)</b>	<b>M-PI al H.cs</b>
<b>3</b>	<b>ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΤΕΓΑΝΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (<math>k \leq 10^{-9}</math> m/s)</b>	<b>Ps-T ή/και sch</b>

## 6.2 Υδροσυστήματα - Υδροφόροι Ορίζοντες.

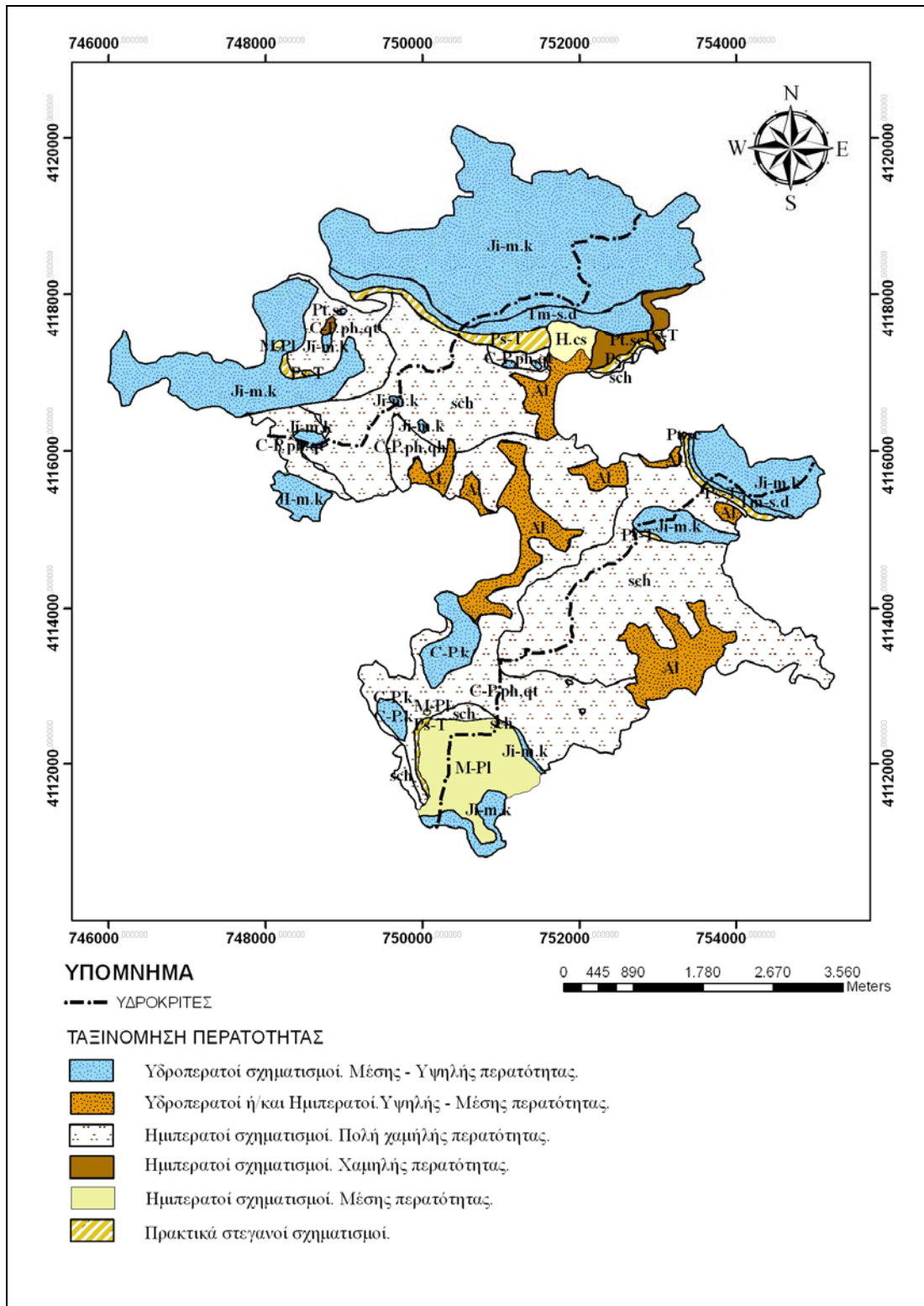
### 6.2.1 Υδροφορία κρυσταλλοσχιστωδών σχηματισμών.

Το ρωγματικό υδροσύστημα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων εμφανίζει σημαντική αποσάθρωση στο μεγαλύτερο μέρος του, διαμορφώνοντας μια έντονη μηχανική και υδραυλική ανισοτροπία, λόγω των ασυνεχειών και της σχιστότητας.

Αυτό καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης και αναπτύσσεται εντός των σχιστολίθων, των φυλλιτών, των χαλαζιτών και των πηλιτών - ψαμμιτών, στους οποίους το νερό κινείται κατά κύριο λόγο, διαμέσου του δευτερογενούς πορώδους, που έχει αναπτυχθεί (δίκτυο ασυνεχειών, διακλάσεων, ρωγμών και ρηξιγενών ζωνών). Εφόσον υπάρχει σύστημα ανοικτών ρωγμών είναι δυνατή η κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και η δημιουργία αποθεμάτων υπόγειου νερού χαμηλής συνήθως υδροδυναμικότητας.

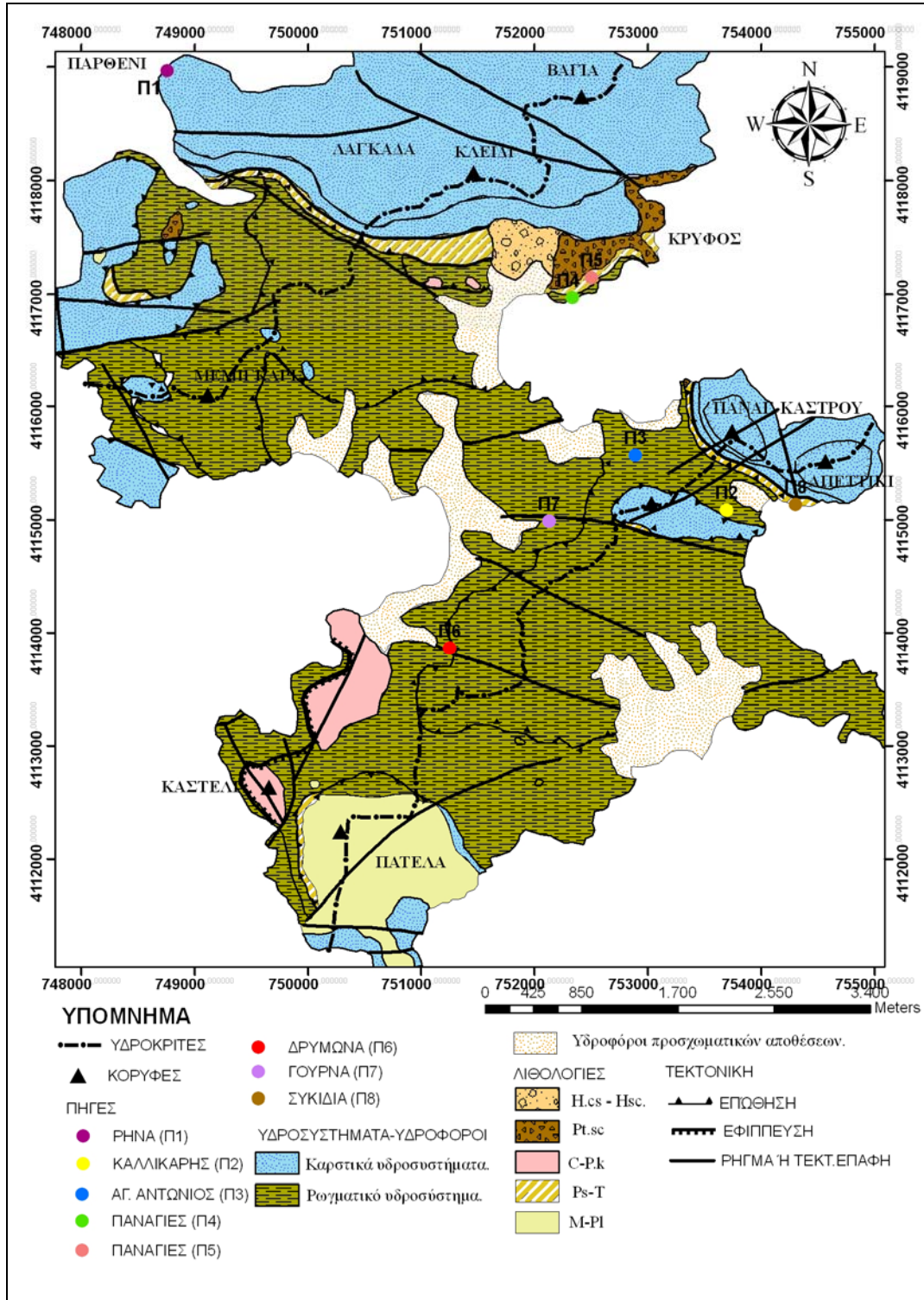
Στο ρωγματικό αυτό σύστημα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, εμφανίζονται δύο πηγές, η Γούρνα (Π7) και ο Δρυμόνας (Π6), όπου και οι δύο τοποθετούνται στις ομώνυμες περιοχές. Αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως μόνιμες πηγές, με βάση το κριτήριο της συνεχούς ή μη

παροχής. Στην πηγή Γούρνα (Π7), όπου μετρήθηκε η παροχή (τον Ιούλιο μήνα του 2011), ήταν  $q= 11t/24 \text{ sec}$ . Με βάση την τιμή της, χαρακτηρίζεται πολύ μικρή πηγή (Σούλιος, 2010).



**Εικόνα 6.1:** Χάρτης ταξινόμησης των σχηματισμών της Ν. Λέρου βάσει της υδροπερατότητας τους.

Επίσης, αν παρατηρήσουμε τον χάρτη υδροσυστημάτων - υδρ. οριζόντων (Εικ 6.2), οι πηγές Δρυμόνας και Γούρνα μπορούν να θεωρηθούν «ανερχόμενες ρηματογενείς», αφού το σημείο εκβολής τους συμπίπτουν με ένα ρήγμα.



**Εικόνα 6.2:** Χάρτης των υδροσυστημάτων και υδροφόρων οριζόντων του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου, όπως αυτό οριοθετείται από τους δύο υδροκρίτες.

Προφανώς, το κάθε ρήγμα ανέβασε ένα υδροφόρο στρώμα κοντά στην επιφάνεια τους εδάφους, με τα υποκείμενα και υπερκείμενα του, να αποτελούν ένα στεγανό ή ημιπερατό στρώμα. Στην περίπτωση μας, το υδροπερατό στρώμα είναι οι ανθρακικοί ορίζοντες (*C-P.k*), οι οποίοι περιβάλλονται από τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (*C-P.ph,qt*), σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη.

Οι γεωτρήσεις εντός του συστήματος αυτού έχουν ανορυχθεί σε βάθη μέχρι 120m, με την υδροστατική στάθμη να κυμαίνεται από 10m μέχρι 60m, ενώ οι παροχές τους ανέρχονται στα 10m<sup>3</sup>/h (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010).

Γενικά, τα ετήσια ανανεώσιμα δυναμικά υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών, που φιλοξενούνται στα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής μελέτης, εκτιμήθηκαν σε 306.768 m<sup>3</sup>, με έναν συντελεστή κατεισδυσής 7% (Πίνακας 6.2).

### 6.2.2 Καρστική υδροφορία.

Εκτός του ρωγματικού υδροσυστήματος των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, εντός των ανθρακικών σχηματισμών (δολομίτες, ασβεστόλιθοι) στα βόρεια του νησιού (Παρθένι), έχει διαμορφωθεί ένα καρστικό υδροσύστημα, υψηλής σχετικά υδροπερατότητας, που ένα τμήμα του τοποθετείται στην περιοχή μελέτης (κορυφές Κλειδί-Βαγιά), αλλά και μικρότερα καρστικά υδροσυστήματα, όπως του Κάστρου-Απεττίκι και του Μεροβιγίου.

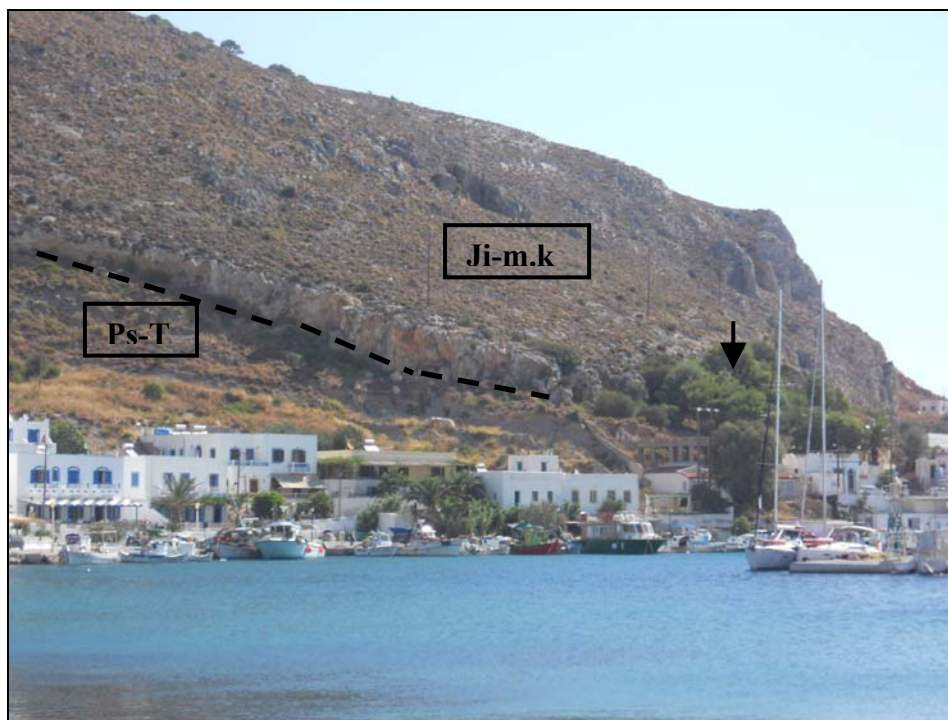
Οι ασβεστόλιθοι οριοθετούνται περιμετρικά από ημιμεταμορφωμένους Παλαιοζωικούς σχηματισμούς, ενώ σημαντική είναι η έκταση, που βρίσκεται σε άμεση υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα (βόρεια και ανατολικά, εξωτερική πλευρά καρστικών συστημάτων), κυρίως στα δύο πρώτα καρστικά συστήματα, ενώ στο τρίτο είναι περιορισμένη.

Κατά συνέπεια λοιπόν, σημαντική μάζα κατεισδυόμενου νερού εκφορτίζεται υποθαλάσσια υπό μορφή παράκτιων υφάλμυρων πηγών, λόγω της έντονης διάρρηξης και έλλειψης υδροστεγανού σχηματισμού σε όλη την έκτασή τους. Έτσι λοιπόν, έχουν δημιουργήσει ενιαίο καρστικό υδροφορέα, ο οποίος διαμορφώνεται στο επίπεδο της θάλασσας ή/και κάτω από αυτό. Επειδή όμως οι ασβεστόλιθοι είναι ανοικτοί προς τη θάλασσα, δέχονται την επίδρασή της, που έχει ως συνέπεια την υφαλμύρωση αυτού του καρστικού υδροφορέα (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010).

Στο καρστικό υδροσύστημα Απεττίκι - Παναγία του Κάστρου εντοπίζεται, στο εσωτερικό τμήμα του (περιοχή Παντέλι), η πηγή Συκίδια (Π8). Σ' αυτήν, σημαντικό ρόλο στην κίνηση του καρστικού νερού, παίζει ο αδιαπέρατος κλαστικός σχηματισμός, με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*), πάνω στον οποίο κινείται το καρστικό νερό και αποτελεί το τοπικό επίπεδο βάσης. Έτσι λοιπόν, η πηγή Συκίδια είναι μια «πηγή επαφής», η οποία είναι η έξοδος ενός

επικρεμάμενου υδροφόρου ανθρακικού στρώματος, και είναι εποχική, με βάση το κριτήριο της συνεχούς ή μη παροχής (Εικ. 6.3).

Το νερό του καρστικού υδροσυστήματος Μεροβιγλίου, εκτονώνεται από πολλές πηγές (π.χ Καλλικάρης - Π2 και ο Αγ. Αντώνιος - Π3). Οι πηγές αυτές είναι εποχικές και, με βάση το κριτήριο γεωλογικής προέλευσης, χαρακτηρίζονται ως «πηγές επαφής», αφού το επίπεδο βάσης του καρστικού συστήματος είναι οι σχιστόλιθοι του βαρίσκιου υποβάθρου (*sch*), (Εικ. 6.2).



**Εικόνα 6.3:** Το καρστικό σύστημα Απεττίκι-Παναγία του Κάστρου, με την πηγή Συκίδια (μαύρο βέλος).

Το καρστικό υδροσύστημα της Λαγκάδας, (Εικ. 6.2), είναι ένα παράκτιο σύστημα, το οποίο εκφορτίζεται : (α) από τις παράκτιες πηγές, στις περιοχές Κρυφό και Παρθένι (πηγή Ρήνα - Π1), όπου η δεύτερη τροφοδοτεί το δίκτυο ύδρευσης - άρδευσης του νησιού, (β) από τις υποθαλάσσιες πηγές στην ακτή Μπλεφούτι (σύμφωνα με τοπικές μαρτυρίες) και (γ) απ' τις πηγές στην περιοχή Παναγίες. Όλες οι παραπάνω πηγές μπορούν να χαρακτηριστούν «περιοδικές», εκτός από την πηγή Ρήνα και πηγή Παναγίες (Π4), οι οποίες χαρακτηρίζονται «εποχικές», ενώ η πηγή Παναγίες (Π5) χαρακτηρίζεται «μόνιμη». Επίσης, η τελευταία, με βάση το κριτήριο της μέσης παροχής, χαρακτηρίζεται «πολύ μικρή πηγή», αφού η παροχή μετρήθηκε  $q= 11t/12 \text{ sec}$ , τον μήνα Ιούλιο.

Οι πηγές Π4 και Π5 (Παναγίες), βρίσκονται πάνω στην διεύθυνση του άξονα ενός σύγκλινου, με γενική διεύθυνση Δ - Α, όπου το νερό των κατακρημνισμάτων διαμέσου της



κατείδυσης, ακολουθεί τις ευνοϊκές κλίσεις των στρωμάτων των Ιουρασικών ασβεστόλιθων (*Ji-m.k*) και τροφοδοτεί τους δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, μέσα από τους οποίους εκφορτίζεται το καρστικό σύστημα. Όμως, το νερό, μόλις φτάσει στο αδιαπέραστο επίπεδο βάσης, το οποίο είναι ο κλαστικός σχηματισμός με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (*Ps-T*), θα πρέπει να ακολουθεί την διεύθυνση του άξονα του συγκλίνου (BBD-NNA) και να εκφορτίζεται μόνο στα δύο άκρα του άξονα του σύγκλινου, από παράκτιες πηγές ή/και υποθαλάσσιες. Έτσι λοιπόν, το νερό της κατείδυσης ξεπερνά, σε ύψος, το στεγανό σκέλος της πτυχής (*Ps-T*), λόγω μεγάλης προσφοράς από τον ανθρακικό όγκο και υπερχειλίζει στα σημεία, όπου εμφανίζονται οι πηγές, γι' αυτό και τις χαρακτηρίζουμε ως πηγές «υπερχείλισης».

Τέλος, τα ετήσια ανανεώσιμα δυνητικά υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών, που φιλοξενούνται στα ανθρακικά πετρώματα εκτιμήθηκαν σε  $672.300\text{m}^3$ , με έναν συντελεστή ενεργής κατείδυσης 30% (Πίνακας 6.2). Ο ίδιος συντελεστής έχει χρησιμοποιηθεί και απ' τους υδρογεωλόγους Γιαννουλόπουλο και Λάππα (2010).

### **6.2.3 Υδροφορία Νεογενών σχηματισμών και Τεταρτογενών αποθέσεων.**

Υδροφόροι ορίζοντες, μικρότερης σημασίας, αναπτύσσονται εντός των προσχωματικών αποθέσεων, στα Άλινα και στη Γούρνα, στους οποίους, λόγω της υδραυλικής επικοινωνίας τους με τη θάλασσα και της εκτεταμένης άντλησης των φρεάτων και γεωτρήσεων (ιδιωτικών και δημοτικών), έχει παρατηρηθεί, έντονα και συστηματικά, το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

Το γεγονός αυτό καταδεικνύει, αφενός μεν την περιορισμένη δυναμική του προσχωματικού υδροφορέα, αφετέρου δε τη μικρή πλευρική τροφοδοσία του απ' τους παρακείμενους σχηματισμούς. Προκύπτει, λοιπόν, ότι οι παράκτιοι υδροφόροι υφίστανται σημαντική πίεση, με συνέπεια πολλές φορές οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια ύδρευσης να καθίστανται ανεπαρκή για την κάλυψη των υδατικών αναγκών.

Οι δυνατότητες εκμετάλλευσης των αποθεμάτων αυτών είναι περιορισμένες, εξαιτίας τόσο της μικρής υδροπερατότητας των σχηματισμών, λόγω των λεπτομερών συστατικών των προσχώσεων, όσο και της μικρής σχετικά έκτασης, ανάπτυξης και υδροχωρητικότητας του υδροφόρου.

Επίσης, μικροί τοπικοί υδροφόροι ορίζοντες εμφανίζονται στα μολασσικά ιζήματα, λόγω του δευτερογενούς πορώδους, αλλά και στα ιζήματα Πλειοκαινικής - Ολοκαινικής ηλικίας (*Pt.sc*, *H.cs*, *H.sc*). Τέλος, τα δυνητικά ετήσια ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών, που φιλοξενούνται στα νεογενή και στις αλλουβιακές αποθέσεις, εκτιμήθηκαν σε  $19.920\text{m}^3$  και σε  $179.280\text{m}^3$ , με συντελεστές ενεργής κατείδυσης 8% και 15%, αντίστοιχα (Πίνακας 6.2).

**Πίνακας 6.2:** Τα συνολικά ετήσια ανανεώσιμα δυναμικά υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών στο κεντρικό τμήμα του νησιού.

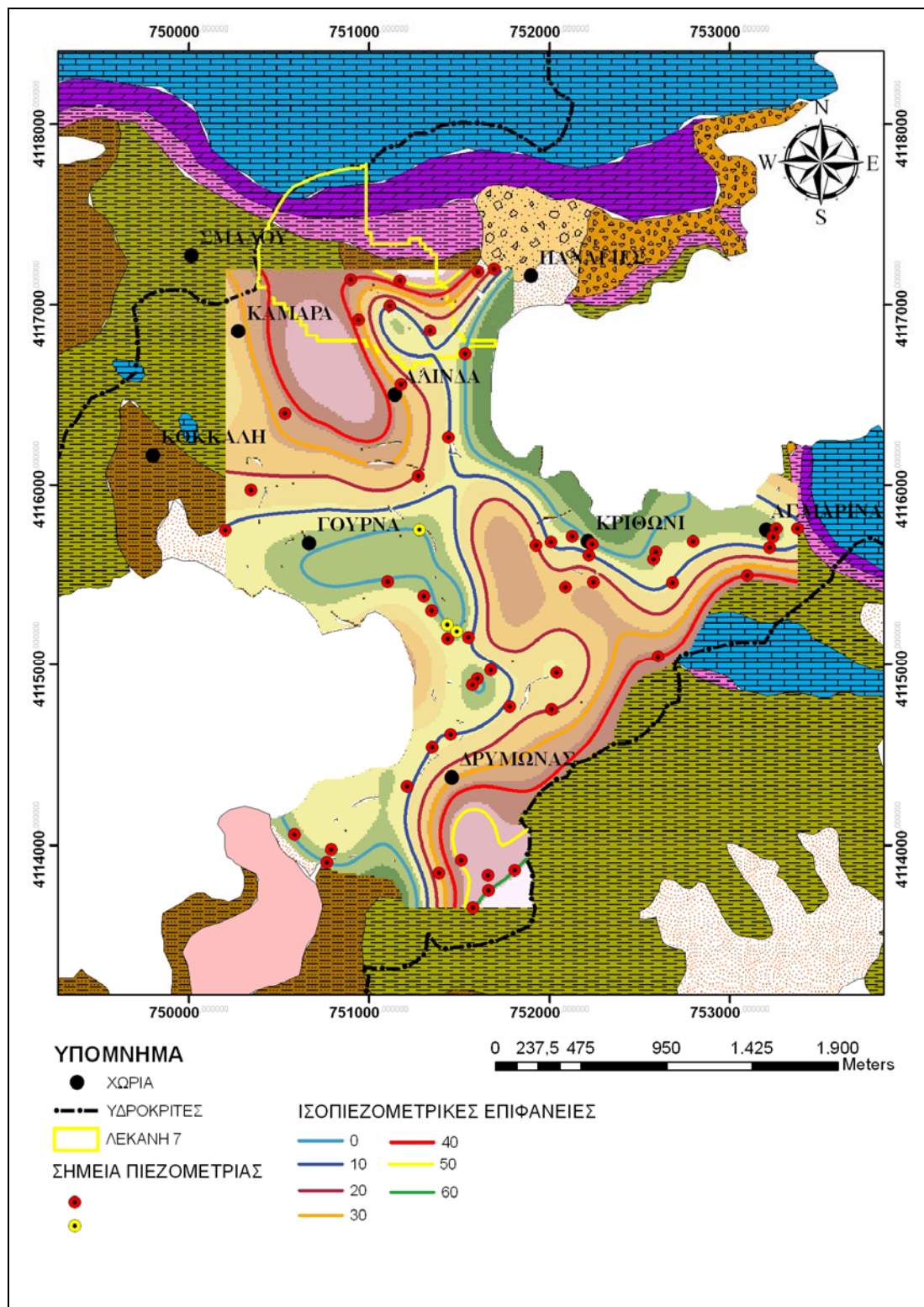
Υδρολιθολογικός Σχηματισμός	Έκταση	Ύψος Βροχής	Συντελεστής κατεΐσδυσης	Δυναμικά ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα
	Km <sup>2</sup>	mm	%	m <sup>3</sup>
Αλλουβιακές αποθέσεις, κώννοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, συνεκτικά κορήματα	2,4	498	15	179.280
Σχιστόλιθοι με εναλλαγές μαρμάρων, φυλλίτες, αργιλικόι σχιστόλιθοι	8,8	498	7	306.768
Κλαστικά υλικά, εναλλαγές μαργών αργίλων	0,5	498	8	19.920
Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικά ανθρακικά ιζήματα	4,5	498	30	672.300
<b>Σύνολο</b>	<b>16,2</b>			<b>1.178.268</b>
<b><u>Οι πλευρικές απώλειες, προς την θάλασσα δεν έχουν εκτιμηθεί.</u></b>				

#### 6.2.4 Πιεζομετρία.

Οι χάρτες, με τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες, έχουν θεμελιώδη σημασία για μια περιοχή, γιατί δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και για τις υπόγειες ροές, οι οποίες σχετίζονται με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (Σούλιος, 2010).

Η εικόνα 6.4 δημιουργήθηκε με βάση τον αλγόριθμο παρεμβολής «Spline», στο λειτουργικό ArcMap - ArcView 9.3, αφού η λογική του αλγόριθμου, σύμφωνα με τον Ζήσου (2010), είναι η προσαρμογή μιας επιφάνειας ελάχιστης καμπυλότητας στα γνωστά σημεία, δηλαδή στα σημεία όπου έχει μετρηθεί η στάθμη του νερού, με αποτέλεσμα την απεικόνιση των ισοπιεζομετρικών καμπύλων, των υπόγειων νερών. Για την σύνθεση του πιεζομετρικού χάρτη (Εικ. 6.4), χρησιμοποιήθηκαν τα σημεία δειγματοληψίας, αλλά και σημεία που είχε μετρηθεί η

πιεζομετρική επιφάνεια κατά την διάρκεια της δεύτερης καταγραφής υδροσημείων (Παράρτημα, Πίνακας 2).



Εικόνα 6.4: Χάρτης πιεζομετρίας της περιοχής μελέτης.

Σύμφωνα με την ανάπτυξη των πιεζομετρικών καμπύλων, διακρίνονται δύο υπόγειοι υδροκρίτες, ο ένας με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ και ο άλλος με διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ. Οι δύο υδροκρίτες ακολουθούν την μορφολογία της περιοχής, αφού ο πρώτος ακολουθεί τους λόφους, που οροθετούν τις περιοχές Κριθώνι και Γούρνα, ενώ ο δεύτερος ακολουθεί τα βουνά, απ' τα οποία περνάει ο κεντρικός υδροκρίτης, δηλαδή, ο δεύτερος υπόγειος υδροκρίτης (ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνσης) είναι σχεδόν παράλληλος με τον κεντρικό επιφανειακό υδροκρίτη. Με βάση λοιπόν τους δύο υπόγειους υδροκρίτες, η υπόγεια ροή έχει κατεύθυνση προς νοτιοδυτικά και βορειοανατολικά, όσον αφορά τον πρώτο, ενώ όσον αφορά τον δεύτερο, η υπόγεια ροή έχει κατεύθυνση, προς βορειοδυτικά και νοτιοανατολικά.

Γενικά, η κλίση των πιεζομετρικών επιφανειών είναι μικρή, λόγω της ροής του υπόγειου νερού, από έναν σχηματισμό λιγότερο περατό (sch, C-P.ph,qt) σε έναν περισσότερο περατό (al). Η μείωση της κλίσης είναι χαρακτηριστική στην περιοχή Καμάρα προς Άλιντα.

Επίσης, στον πιεζομετρικό χάρτη παρατηρούμε ότι οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες κυμαίνονται από 0 έως 60m υψόμετρο απ' την παράκτια περιοχή, προς το εσωτερικό του νησιού, με εξαίρεση στην περιοχή Γούρνα. Η παραλιακή ζώνη της Γούρνας χαρακτηρίζεται από τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες (0 και 10), όπου η πιεζομετρική επιφάνεια υψόμετρου 0m (κλειστή γαλάζια καμπύλη) δημιουργείται, λόγω των σημείων με αύξοντα αριθμό 112, 121 και 122 (Παρ. Πίνακας 2). Πρόκειται για πηγάδια μεγάλου βάθους και η πιεζομετρική επιφάνεια τους φτάνει κοντά στο επίπεδο της θάλασσας κατά την ξηρή περίοδο (Εικ. 6.4, κίτρινα σημεία πιεζομετρίας).

Το φαινόμενο αυτό, μπορεί να προκύπτει και λόγω της μεγάλης άντλησης του υπόγειου νερού, για λόγους άρδευσης ή/και λόγω της κίνησης του νερού σε άλλον υδροφορέα, γι' αυτό και οι γραμμές ροής μεταξύ των ισοπιεζομετρικών καμπύλων (1μ. και 10μ.) είναι συγκλίνουσες και ακτινωτές.

Σε ορισμένα τμήματα των παράκτιων περιοχών, κυρίως Άλιντα και Κριθώνι παρατηρούμε ότι οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες (0 και 10) αναπτύσσονται ομαλά εντός των προσχωματικών αποθέσεων (αλλουβιακές αποθέσεις). Η γενική διεύθυνση της υπόγειας ροής είναι ανατολική προς την παράκτια ζώνη, όπου γίνεται η εκτόνωση του υδροφορέα.

Στην υδρολογική λεκάνη7 (περιοχή Άλιντα), η ισοπιεζομετρική καμπύλη των 10μ. σχηματίζει μια κλειστή ισοπιεζομετρική καμπύλη ενδότερα απ' την παράκτια ζώνη, η οποία οφείλεται προφανώς στην προέκταση των αλλουβιακών αποθέσεων στο εσωτερικό της υδρολογικής λεκάνης.

## **7.ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

### **7.1 Γενικά.**

Το υπόγειο νερό, σε ό,τι αφορά την ποιότητα του, την περιεκτικότητα του σε διάφορα ιόντα και γενικά τις φυσικοχημικές ιδιότητες του, μοιάζει με τον χαρακτήρα και την προσωπικότητα του ανθρώπου. Όπως στον άνθρωπο, πέρα από τα έμφυτα χαρακτηριστικά του, έχουν αποτυπωθεί και κατάλοιπα από όσα κοινωνικά - οικονομικά επαγγελματικά μέσα και στάδια έχει περάσει ή ζήσει, έτσι και στην ποιότητα και γενικά στη χημική σύσταση και στις φυσικοχημικές ιδιότητες του υπόγειου νερού αποτυπώνονται κατάλοιπα απ' όλα τα γεωλογικά στρώματα, απ' τα οποία έχει περάσει, πέρα από την αρχική σύσταση του, που είχε ως βροχή, όταν έπεφτε στην επιφάνεια της Γης. Φυσικά κάθε γεωλογικό στρώμα προσδίνει κάποια ιδιαίτερα στοιχεία στο νερό, το οποίο περιέχει ή από το οποίο διαρρέεται.

Έτσι λοιπόν, μελετώντας τη χημική σύσταση ενός δείγματος υπόγειου νερού, είναι δυνατό να συμπεράνουμε ή έστω να εικάσουμε από τι είδους σχηματισμούς γενικά ή και από ποιους συγκεκριμένα έχει περάσει, αφού ορισμένες κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών, λόγω ακριβώς της ορυκτολογικής - χημικής σύστασης τους, εμπλουτίζουν το υπόγειο νερό σε ορισμένα ιόντα (Σούλιος, 2006).

### **7.2 Δειγματοληψία νερού - Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων.**

#### **Δειγματοληψία νερού.**

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας και των χημικών παραμέτρων των διαφόρων υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής έρευνας, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία των υπόγειων νερών στο διάστημα μεταξύ Απριλίου και Ιουλίου 2011. Συνολικά συλλέχθηκαν 42 δείγματα, απ' τα οποία τα πέντε (5) ήταν από γεωτρήσεις, τα έξι (6) από πηγές και τα υπόλοιπα τριάντα ένα (31) από πηγάδια (Εικ. 7.1).

Προηγήθηκε καταγραφή των υδροσημείων της περιοχής (πηγές, πηγάδια, γεωτρήσεις) και ακολούθησε η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας. Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας έγινε με βασικό κριτήριο την λιθολογία, με σκοπό την λήψη πληροφοριών, αναφορικά ως προς την ποιότητα των υπόγειων νερών από κάθε λιθολογική ενότητα.

Η απογράφη των υδροσημείων και της συλλογής των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε δύο χρονικές περιόδους: μεταξύ 20/4/2011 έως 30/4/2011 και μεταξύ 10/7/2011 έως 14/7/2011. Κατά την πρώτη περίοδο απογράφηκαν τα υδροσημεία στις περιοχές Σμαλού, Καμάρα, Κόκκαλη, Άλιντα, Αγ. Μαρίνα, Παντέλι και Δρυμόνα και συλλέχθηκαν 28 δείγματα (Παράρτημα - Πιν 3). Κατά την δεύτερη περίοδο απογράφηκαν τα υδροσημεία στις περιοχές

Γούρνα, Δρυμόνα, Αγ. Μαρίνα και Κριθώνι και συλλέχθηκαν τα υπόλοιπα 14 δείγματα (Παράρτημα - Πίνακας 4Α).

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κάτω από αίθριες καιρικές συνθήκες. Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν σε πλαστικά δοχεία πολυαιθυλενίου, χωρητικότητας 1,5L, τα οποία προηγουμένως ξεπλύθηκαν πολύ καλά με το ίδιο προς ανάλυση νερό και στην συνέχεια σφραγίστηκαν και τοποθετήθηκαν μέσα σε δροσερό και σκιερό μέρος μέχρι την ανάλυσή τους. Σε ξεχωριστά πλαστικά μπουκαλάκια χωρητικότητας 200 ml, συλλέχθηκαν αντίστοιχα δείγματα νερού, αφού φιλτραρίστηκαν, συντηρήθηκαν, μέσω της προσθήκης 1 ml HNO<sub>3</sub> για την ανίχνευση των βαρέων μεταλλικών ιχνοστοιχείων.

Επίσης, έγιναν επιτόπιοι φυσικοχημικοί προσδιορισμοί των ασταθών παραμέτρων του υπόγειου νερού, δηλαδή, της θερμοκρασίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C), της αλμυρότητας (salinity), της συνολικής αλατότητας (TDS), του O<sub>2</sub>, του pH και του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh). Για την μέτρηση της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε το φορητό αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET, για το pH και το Eh χρησιμοποιήθηκε το φορητό πεχάμετρο WTW PH 330i/SET, ενώ για το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) χρησιμοποιήθηκε το φορητό οξυγονόμετρο WTW OXI96.

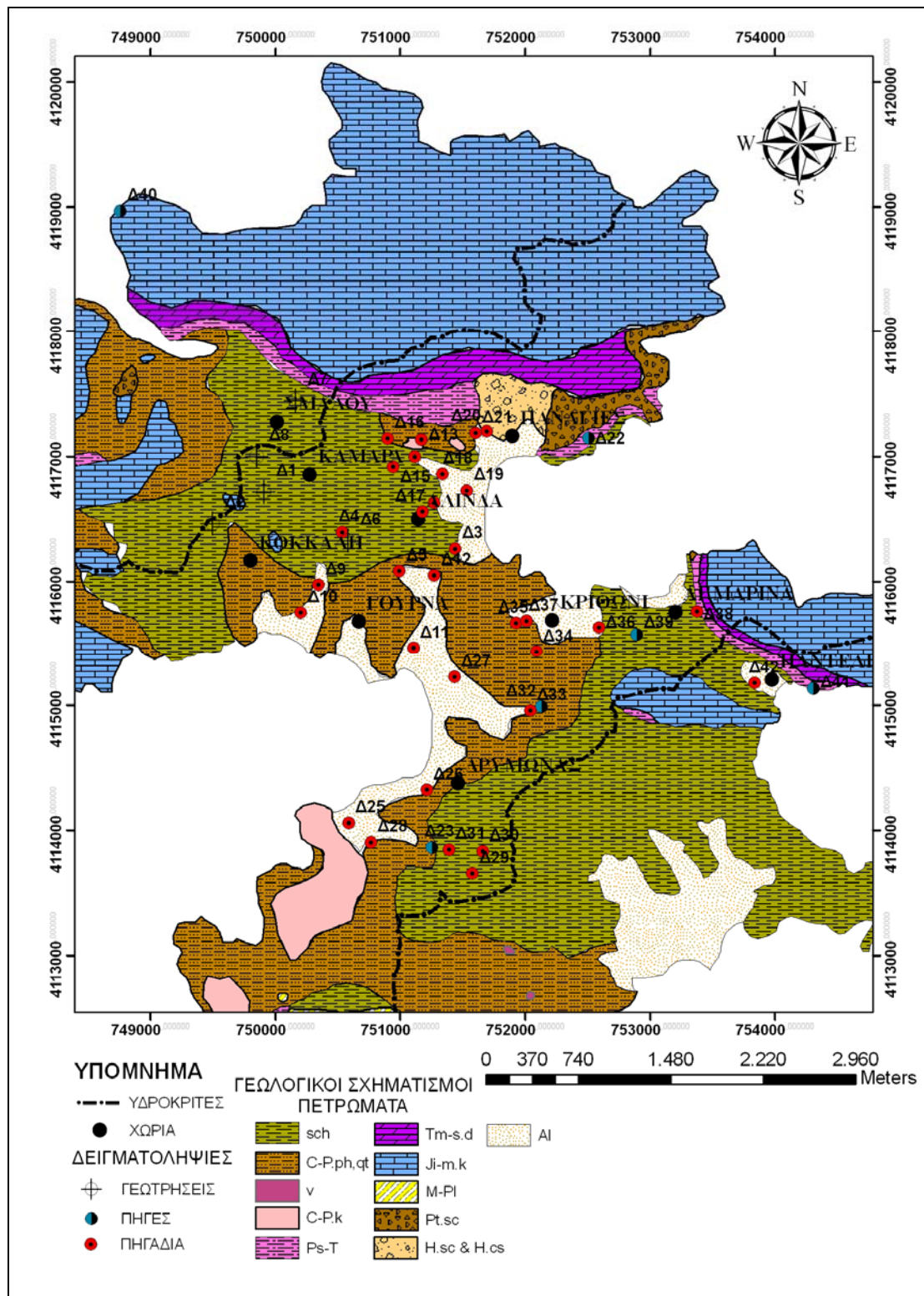
### **Εργαστηριακές αναλύσεις.**

Τα δείγματα του νερού αναλύθηκαν στο εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, λίγες μέρες μετά απ' την συλλογή τους, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα, για την εξέταση των νερών. Είναι γνωστό ότι τα αποτελέσματα μιας χημικής ανάλυσης είναι τόσο πιο αντιπροσωπευτικά, όσο μικρότερος είναι ο χρόνος, που μεσολαβεί ανάμεσα στην δειγματοληψία και την εκτέλεση της χημικής ανάλυσης.

Για τον προσδιορισμό των χημικών παραμέτρων των νερών, εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι: α) τιτλοδότηση - ογκομέτρηση, β) φασματοφωτομετρία, γ) φλογοφωτομετρία και δ) ατομική απορρόφηση.

### **Α. Εφαρμογή Τιτλοδότησης - Ογκομέτρησης.**

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην αντίδραση πλήρους εξουδετέρωσης ενός οξέος από μια βάση. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης γίνεται με τη μέτρηση του όγκου του διαλύματος του αντιδρώντος γνωστής συγκέντρωσης (διάλυμα τιτλοδότησης), που απαιτείται για να αντιδράσει πλήρως, με συγκεκριμένη ποσότητα διαλύματος του άλλου αντιδρώντος. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τον ποσοτικό προσδιορισμό της ολικής και παροδικής σκληρότητας, των οξυανθρακικών ιόντων (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), των ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) καθώς και των ιόντων ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>).



**Εικόνα 7.1:** Χάρτης σημείων δειγματοληψίας στην περιοχή μελέτης.

Η ποσοτική ανίχνευση της ολικής σκληρότητας και των ιόντων ασβεστίου έγινε με τιτλοδότηση, με EDTA 0,02N, για την ανθρακική σκληρότητα ( $\text{HCO}_3$ ) χρησιμοποιήθηκε HCl 0,01N και για τα ιόντα χλωρίου χρησιμοποιήθηκε  $\text{AgNO}_3$  0,01N.

Ο προσδιορισμός της **ολικής σκληρότητας** στα δείγματα έγινε με χρήση 50 ml δείγματος, έγχυση αντιδραστηρίων της Hack, ενός (1) ml Hardness 1 και δύο σταγόνες Hardness 2, τιτλοδότηση με EDTA 0,02N και μέτρηση του όγκου (ml) του τιτλοδότη μέχρι το φούξια χρώμα να μετατραπεί σε μπλε. Η μετατροπή του αποτελέσματος της χημικής ανάλυσης σε mg/l CaCO<sub>3</sub> και σε βαθμούς °dH, έγινε με βάση τις παρακάτω σχέσεις.

1. Ολική σκληρότητα σε mg/l CaCO<sub>3</sub> = όγκος τιτλοδότη × 20
2. Ολική σκληρότητα σε °dH (γερμανικούς βαθμούς σκληρότητας = mg/l CaCO<sub>3</sub> / 17,8).

Ο προσδιορισμός της **ανθρακικής σκληρότητας** (παροδική σκληρότητα) προκύπτει από τον προσδιορισμό των οξυανθρακικών ιόντων (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Ο προσδιορισμός των **οξυανθρακικών ιόντων (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)** πραγματοποιήθηκε με χρήση 100 ml δείγματος, έγχυση δύο έως τριών σταγόνων πυκνού διαλύματος πορτοκαλόχρουν του μεθυλενίου και τιτλοδότηση με HCl 0,01N μέχρι το διάλυμα από κίτρινο να γίνει πορτοκαλί. Η μετατροπή του αποτελέσματος της χημικής ανάλυσης σε mg/l CaCO<sub>3</sub> και σε βαθμούς °dH, έγινε με βάση τις παρακάτω σχέσεις.

1. Συγκέντρωση Οξυανθρακικής ρίζας σε meq/l HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = όγκος τιτλοδότη
2. Συγκέντρωση Οξυανθρακικής ρίζας σε mg/l HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> meq/l × 61.
3. Ανθρακική σκληρότητα σε °dH = όγκος τιτλοδότη × 2,8.
4. Ανθρακική σκληρότητα σε mg/l CaCO<sub>3</sub> = °dH × 17,8.

Ο προσδιορισμός της **μόνιμης σκληρότητας** υπολογίστηκε με την διαφορά της παροδικής σκληρότητας απ' την ολική σκληρότητα.

Ο προσδιορισμός των **κατιόντων του ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>)** στα δείγματα έγινε βάσει της μεθόδου της Hack, με χρήση 50 ml δείγματος, διάλυση ενός δισκίου Calver και 1ml Potassium Hydroxide Solution, και στην συνέχεια τιτλοδότηση με EDTA 0,02N, μέχρι το διάλυμα από φούξια χρώμα να γίνει μπλε. Η μετατροπή του αποτελέσματος της χημικής ανάλυσης σε meq/l και mg/l γίνεται με τις παρακάτω σχέσεις:

1. mg/l Ca<sup>2+</sup> = όγκος τιτλοδότη × 8
2. meq/l Ca<sup>2+</sup> = mg/l Ca<sup>2+</sup> × 0,0499

Ο προσδιορισμός των **κατιόντων του μαγνησίου (Mg<sup>2+</sup>)** στα δείγματα υπολογίστηκε με βάση την ολική σκληρότητα και την συγκέντρωση των κατιόντων του Ca<sup>2+</sup>, με τις παρακάτω σχέσεις:

1. Συγκέντρωση ιόντων Ca<sup>2+</sup> σε mg/l × 0,14 = Σκληρότητα του Ca<sup>2+</sup> σε °dH
2. Ολική σκληρότητα – Σκληρότητα του Ca<sup>2+</sup> = προκύπτει σκληρότητα Mg<sup>2+</sup> σε °dH.
3. Σκληρότητα Mg<sup>2+</sup> σε °dH / 0,23 = προκύπτει η συγκέντρωση των ιόντων Mg<sup>2+</sup> σε mg/l.
4. Συγκέντρωση Mg<sup>2+</sup> mg/l × 0,0822 = προκύπτει συγκέντρωση ιόντων Mg<sup>2+</sup> σε meq/l.

Ο προσδιορισμός των **ιόντων χλωρίου** στα δείγματα έγινε με χρήση 100 ml δείγματος (προηγήθηκε αραιώση λόγω υψηλής αλμυρότητας), έγχυση τεσσάρων σταγόνων πυκνού διαλύματος K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (δείκτης) και τιτλοδότηση με διάλυμα AgNO<sub>3</sub> 0,01N, μέχρι το διάλυμα από



κίτρινο να γίνει πορτοκαλί. Η μετατροπή του αποτελέσματος της χημικής ανάλυσης σε από meq/l σε mg/l Cl<sup>-</sup> έγινε με βάση τις παρακάτω σχέσεις.

1. meq/l Cl<sup>-</sup> = όγκος τιτλοδότη × αραίωση
2. mg/l Cl<sup>-</sup> = (όγκος τιτλοδότη × αραίωση) / 0, 0282.

### **B. Εφαρμογή Φασματοφωτομετρίας.**

Οι περισσότερες από τις φασματοφωτομετρικές μεθόδους βασίζονται στην επίδραση κατάλληλης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μια ουσία, που δεσμεύεται από τα άτομα, ή τα μόρια της ύλης και προκαλεί ηλεκτρονικές διεγέρσεις, διεγέρσεις πυρήνων, αλλαγές στην περιστροφή και τη δόνηση των μορίων. Στη συνέχεια τα άτομα και τα μόρια επιστρέφουν συνήθως στην αρχική τους κατάσταση, αφού αποβάλουν το ποσό της ενέργειας, που απορρόφησαν. Η καταγραφή της έντασης της απορρόφησης, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, ή τη συχνότητα της ακτινοβολίας, αποτελεί το φάσμα απορρόφησης, που είναι γραμμικό στα άτομα και ταινίες στα μόρια ([chimikoergastirio.blogspot.com/.../uv-vis](http://chimikoergastirio.blogspot.com/.../uv-vis)).

Με την χρήση φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000 και αντίστοιχων αντιδραστηρίων της Hach, προσδιορίστηκαν φασματομετρικά τα ακόλουθα ιόντα : α) τα φωσφορικά (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) στο μήκος κύματος των 890 nm, β) τα θειικά (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) στο μήκος κύματος των 450 nm, γ) τα νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στο μήκος κύματος των 500 nm, τα αμμωνιακά (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) στο μήκος κύματος των 425 nm, το διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) στο μήκος κύματος των 410 nm, το φθόριο (Br<sup>-</sup>) και το Ιώδιο (I<sup>-</sup>) στο μήκος κύματος 530 nm.

### **Γ. Εφαρμογή Φλογοφωτομετρίας.**

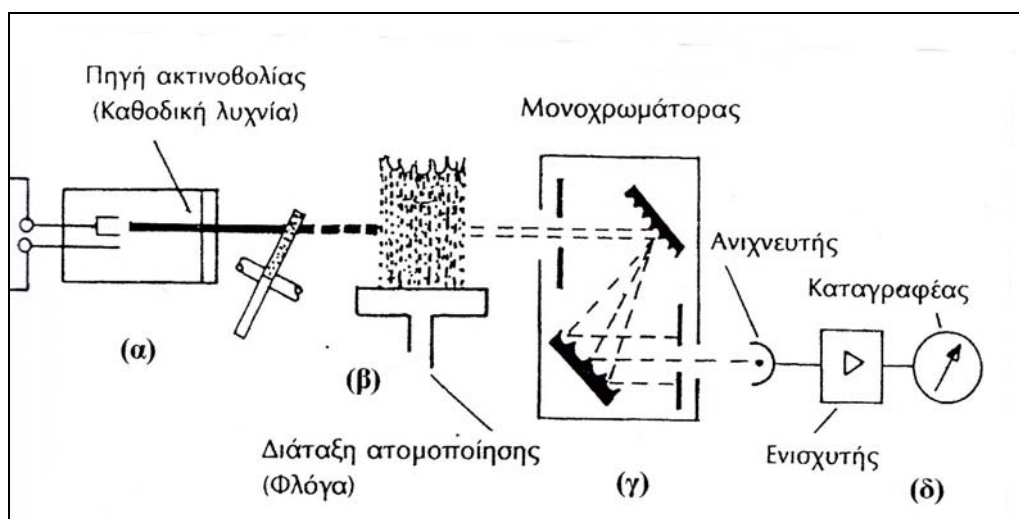
Η μέθοδος της φλογοφωτομετρίας στηρίζεται στην μέτρηση της ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τα άτομα, όταν βρίσκονται σε διεγερμένες ενεργειακές καταστάσεις. Με την μέθοδο αυτή, τα στοιχεία νάτριο (Na<sup>+</sup>) και κάλιο (K<sup>+</sup>) προσδιορίστηκαν με την βοήθεια του φλογοφωτόμετρου INTECH/420.

### **Δ. Εφαρμογή Ατομικής απορρόφησης.**

Η αρχή λειτουργίας της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS) συνοπτικά προσομοιάζει προς την φλογοφωτομετρία εκπομπής, με την έννοια ότι το υγρό δείγμα αναρροφάται και με μορφή νέφους εισάγεται σε φλόγα, όπου εξατμίζεται ο διαλύτης και τα ιόντα ατμοποιούνται (Εικ. 7.2).

Η διαφορά τους έγκειται στο ότι, στην μεν φλογοφωτομετρία εκπομπής, μετράται η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, απ' τα θερμικά διεγερμένα άτομα, στη δε φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης, εκπέμπεται μια χαρακτηριστική ακτινοβολία σταθερής έντασης, η

οποία διερχόμενη από φλόγα με άτομα μετάλλου, απορροφάται από αυτά και υπολογίζεται η μείωση της, που είναι ανάλογη με την συγκέντρωση των ατόμων. Η AAS είναι πολύ πιο ευαίσθητη, επειδή εκεί η ακτινοβολία απορροφάται από τα μη διεγερμένα άτομα. Στην φλόγα, τα μη διεγερμένα άτομα είναι κατά πολύ περισσότερα απ' τα διεγερμένα, σε κάθε χρονική φάση.



**Εικόνα 7.2:** Τα βασικά τμήματα της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS). Επεξηγήσεις: (α) Διάταξη για την παραγωγή μονοχρωματική δέσμης φωτός, χαρακτηριστικής για κάθε μέταλλο. Αυτό μπορεί να γίνει με μια καθοδική λυχνία, (β) Διάταξη ατομοποίησης του μετάλλου με φλόγα ή με φούρνο γραφίτη, (γ) Διάταξη μέτρησης της έντασης της διερχόμενης δέσμης φωτός με παρεμβολή ενός μονοχρωμάτορα, (δ) Διάταξη ενίσχυσης του σήματος και καταγραφή.

Επειδή κάθε άτομο απορροφά κάποια χαρακτηριστική ακτινοβολία και είναι αυτή, που παρέχει η πηγή, σημαίνει ότι τυχόν παρουσία άλλων ατόμων δεν θα επηρεάζει την απορρόφηση. Έτσι, η AAS ουσιαστικά είναι απαλλαγμένη από εμπόδια για τον προσδιορισμό των διαφόρων μετάλλων (Ταβουλάρης, 2006).

Γενικά, η ύπαρξη βαρέων μετάλλων, πέρα από τα επιτρεπτά όρια, θεωρείται σημαντικό πρόβλημα, γιατί, σε αντίθεση με τις τοξικές οργανικές ενώσεις, δεν αποικοδομούνται και με αυτόν τον τρόπο συμβάλουν στο φαινόμενο της βιοσυσώρευσης και βιομεγένθυνσης, με όλες τις αρνητικές συνέπειες, που μπορεί να έχουν για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Με αυτήν την μέθοδο προσδιορίστηκαν τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Cu, Co, Mn, Cr, Fe, Cd, Ni, Zn, με τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908, στα αντίστοιχα μήκη κύματος, που ακολουθούν: 324,7 nm (χαλκός), 240,7 nm (κοβάλτιο), 279,5

nm (μαγγάνιο), 357,9 nm (χρώμιο), 248,3 nm (σίδηρο), 228,8 nm (κάδμιο), 232 nm (νικέλιο) και 213,9 nm (ψευδάργυρο).

### **Ακρίβεια χημικών αναλύσεων.**

Σε κάθε χημική ανάλυση υπεισέρχονται σχεδόν πάντοτε σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να είναι συστηματικά και στατιστικά. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται στην χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία, δηλαδή, σε αποκλίσεις, που οφείλονται στην αναλυτική διαδικασία, λόγω ελλατωματικής εκτέλεσης ή παρεμβολών κατά την ανάλυση, ενώ τα στατιστικά σφάλματα οφείλονται σε τυχαίες διακυμάνσεις της αναλυτικής διαδικασίας.

Έτσι λοιπόν, τα συστηματικά σφάλματα εντοπίστηκαν με τον υπολογισμό της ηλεκτρο - ουδετερότητας (Electro Neutrality) E.N (%), η οποία ισούται με το πηλίκο του άθροισματος των κατιόντων με των ανιόντων, προς την διαφορά των κατιόντων με των ανιόντων, πολλαπλασιασμένο επί 100, όπου τα κατιόντα και ανιόντα εκφράζονται σε meq/l.

$$E.N (\%) = \{(\text{άθρ. ανιόντων} - \text{άθρ. κατιόντων}) / (\text{άθρ. ανιόντων} + \text{άθρ. κατιόντων})\} \times 100.$$

Στο άθροισμα των κατιόντων περιλαμβάνονται το  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Ca}^{2+}$ , στο άθροισμα των ανιόντων το  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ , ενώ η ηλεκτρο-ουδετερότητα να μην ξεπερνά το 5% (Καλλέργης, 2000 & Σούλιος 2006). Με βάση τα προηγούμενα, μετά τις εργαστηριακές αναλύσεις, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του ιοντικού ισοζυγίου ανιόντων - κατιόντων, που βρέθηκε μικρότερος από 5% (Παράρτημα-Πίνακας 5).

### **7.3 Επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.**

Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την περιοχή μελέτης προέρχονται από τρία υδρογεωλογικά περιβάλλοντα: α) τις αλλουβιακές αποθέσεις (α1), που βρίσκονται στην παραλιακή ζώνη του νησιού, β) από τα καρστικά υδροσυστήματα και γ) από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος.

Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό, από τις αλλουβιακές αποθέσεις συλλέχθηκαν πέντε (5) δείγματα νερού (Δ11, Δ19, Δ25, Δ26, Δ27), από τα καρστικά υδροσυστήματα συλλέχθηκαν τέσσερα (4) δείγματα νερού (Δ22, Δ39, Δ40, Δ41) και από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (C-P.ph,qt & sch) συλλέχθηκαν τριαντατρία (33) δείγματα (Δ5, Δ9, Δ10, Δ12, Δ13, Δ20, Δ21, Δ23, Δ28, Δ32, Δ33, Δ34, Δ35, Δ36, Δ37, Δ1, Δ2, Δ3, Δ4, Δ6, Δ7, Δ8, Δ14, Δ15, Δ16, Δ17, Δ18, Δ24, Δ29, Δ30, Δ31, Δ38, Δ42).

Η απεικόνιση των φυσικοχημικών παραμέτρων των δειγμάτων έγινε με την βοήθεια γραφημάτων (Microsoft Office, Excel 2003) και χαρτών ισοκατανομών (ArcMap - ArcView 9.3), με την χρήση του αλγόριθμου «Inverse Distance Weighted».

Επίσης, για την ταξινόμηση των υπόγειων νερών, με βάση το διάγραμμα Piper και Schoeller χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα «Aquachem». Για το διάγραμμα Piper λήφθηκαν υπόψη οι τιμές της ποσοστιαίας συμμετοχής του καθενός στοιχείου στο σύνολο των κατιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  και στο σύνολο των ανιόντων  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (σε mg/l). Για τη ταξινόμηση των υπόγειων νερών, με βάση το διάγραμμα DUROV χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα CH45.exe και Grapher 2.0, εισάγοντας ως δεδομένα εισόδου την θερμοκρασία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και τα στοιχεία  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$ .

Σύμφωνα με την παραπάνω επεξεργασία και αξιολόγηση των υδροχημικών αποτελεσμάτων παρέχονται πληροφορίες: α) ως προς την ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών που προέρχονται από τα προαναφερόμενα υδρογεωλογικά περιβάλλοντα, β) τις διαδικασίες της ποιοτικής τους εξέλιξης και γ) τον βαθμό της υποβάθμισης τους από φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες.

## **7.4 Φυσικοχημικές παράμετροι.**

### **7.4.1 Θερμοκρασία.**

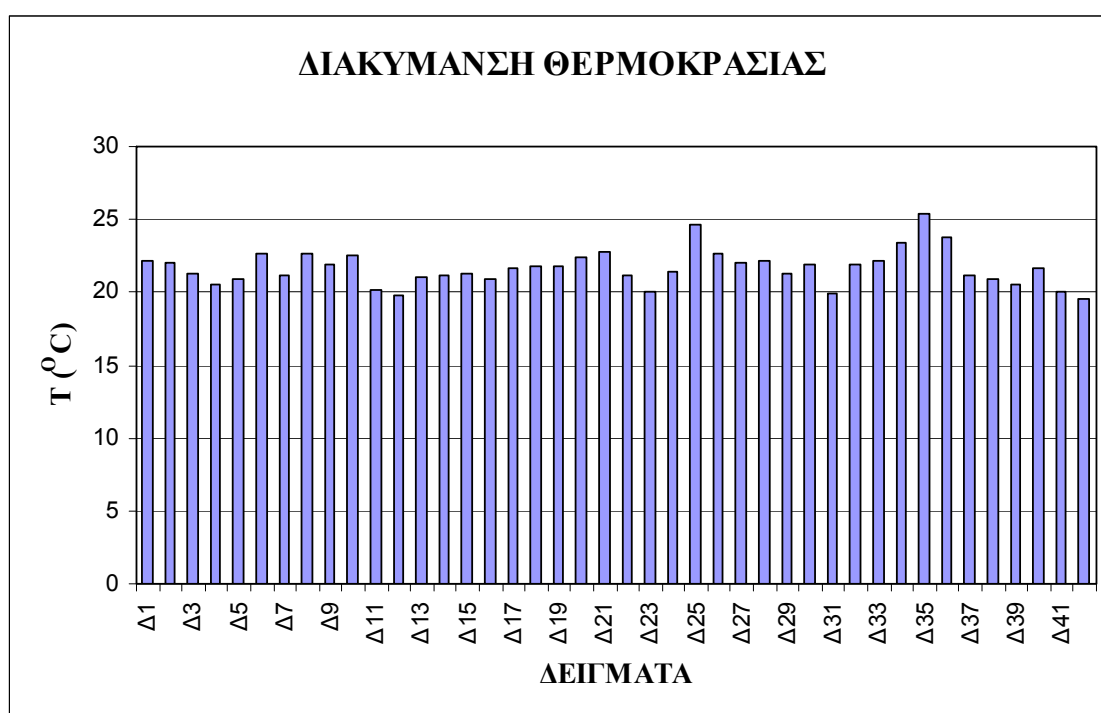
Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, που τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός απ' τα επιφανειακά νερά. Αυτά παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης, αλλά και απ' τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας.

Γενικά, η θερμοκρασία του νερού αλλάζει αργά, καθώς αυτό μεταναστεύει υπογείως. Συγκρινόμενο με άλλα φυσικά υλικά, το νερό διαθέτει υψηλή θερμική ικανότητα και οι αλλαγές στη θερμοκρασία του συνοδεύονται από αλλαγές στην πυκνότητα και στο ιξώδες, που με την σειρά τους μεταβάλλουν την ταχύτητα και την διεύθυνση της ροής του νερού. Επίσης, σύμφωνα με τον Σούλιο (2006), η μέση θερμοκρασία, σε συνήθη βάθη, κυμαίνεται από 14 °C έως 15 °C και η δε συνήθης χωρική διακύμανση είναι από 10 °C έως 20 °C.

Όσον αφορά το κεντρικό τμήμα της νήσου Λέρου, η θερμοκρασία των υπόγειων νερών, στις αλλουβιακές αποθέσεις (al), κυμαίνεται από 20,2 °C έως 24,7 °C και εμφανίζει μία μέση τιμή 22,3 °C (Παράρτημα - Πίνακας 6). Η χωρική κατανομή των θερμοκρασιών παρουσιάζεται στην εικόνα 7.3. Διακρίνεται χαρακτηριστικά η αύξηση της θερμοκρασίας από την ενδοχώρα

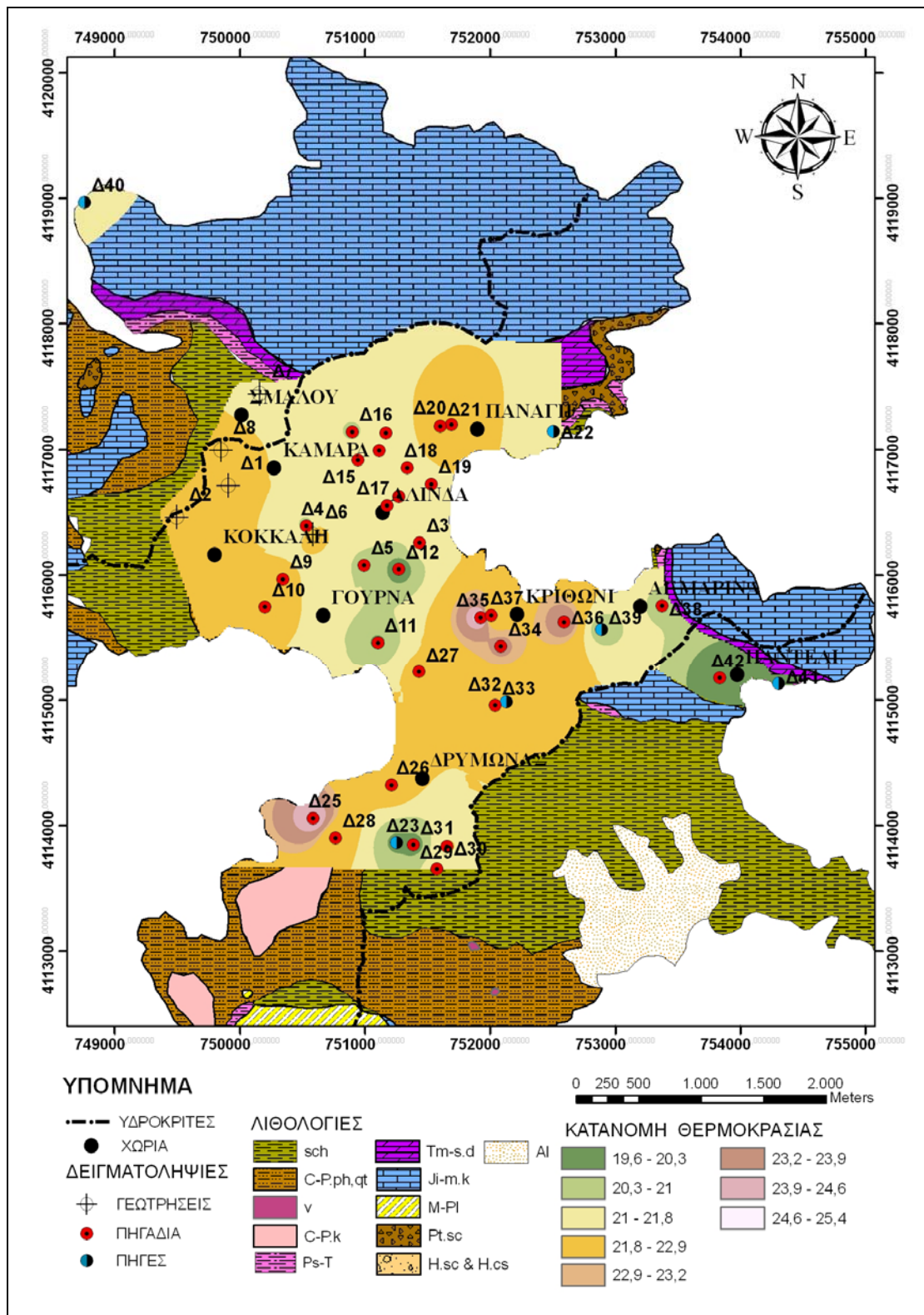
περιοχή προς την παράκτια ζώνη, όπου η υφαλμύρωση των υπόγειων νερών είναι υψηλότερη. Γενικά, τα υφάλμυρα νερά εμφανίζουν μια θερμοκρασία από 22 °C έως 30 °C (www.aquarium4u.gr). Το δείγμα Δ25 είναι το πλησιέστερο στην θάλασσα και έχει την υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας.

Στην καρστική υδροφορία, η θερμοκρασία κυμαίνεται από 20 °C έως 21,6 °C και εμφανίζει μία μέση τιμή 20,8 °C (Παράρτημα - Πίνακας 6). Η υψηλότερη θερμοκρασία εμφανίζεται στην παράκτια καρστική πηγή Ρήνα (Π1 - Δ40), η οποία επηρεάζεται απ' την θαλάσσια διείσδυση. Αν συγκρίνουμε τις άλλες τρεις πηγές (Δ22, Δ39, Δ41), οι οποίες δεν έχουν καμία σχέση με την θαλάσσια διείσδυση, την υψηλότερη θερμοκρασία την εμφανίζει η πηγή Παναγίες (Π5 - Δ22), η οποία κατέχει και την μεγαλύτερη παροχή (Σχ. 7.1).



**Σχήμα 7.1:** Η διακύμανση της θερμοκρασίας, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Τέλος, η θερμοκρασία των υπόγειων νερών στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα κυμαίνεται από 19,6 °C έως 25,4 °C και εμφανίζει μια μέση τιμή 21,7 °C (Παράρτημα - Πίνακας 6). Συγκεκριμένα παρατηρούμε, ότι καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, μειώνεται η θερμοκρασία του νερού. Αυτό το γεγονός συμβαίνει, επειδή δεν προλαβαίνει να κάνει μεγάλη διαδρομή και δεν επηρεάζεται απ' την διείσδυση της θάλασσας.



Εικόνα 7.3: Χάρτης χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών, στο κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου.

Στον χάρτη χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας (Εικ 7.3) και ειδικότερα στις περιοχές Γούρνα και Κριθώνι, τα δείγματα Δ35 και Δ27 εμφανίζουν μεγάλες τιμές. Το πρώτο είναι ένα ρηχό πηγάδι, το οποίο είναι εκτεθειμένο στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, ενώ στο πηγάδι Δ27, αν και δεν βρίσκεται σχετικά κοντά στην ακτή, λόγω του μεγάλου βάθους που έχει, πιθανόν να έχει διεισδύσει η θάλασσα. Επίσης, στο βορειοδυτικό τμήμα του κεντρικού τμήματος του νησιού (περιοχή Σμαλού), οι γεωτρήσεις (Δ1, Δ2, Δ8) έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες από την γεώτρηση Δ7 (Σχ. 7.1).

#### **7.4.2 pH - Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh).**

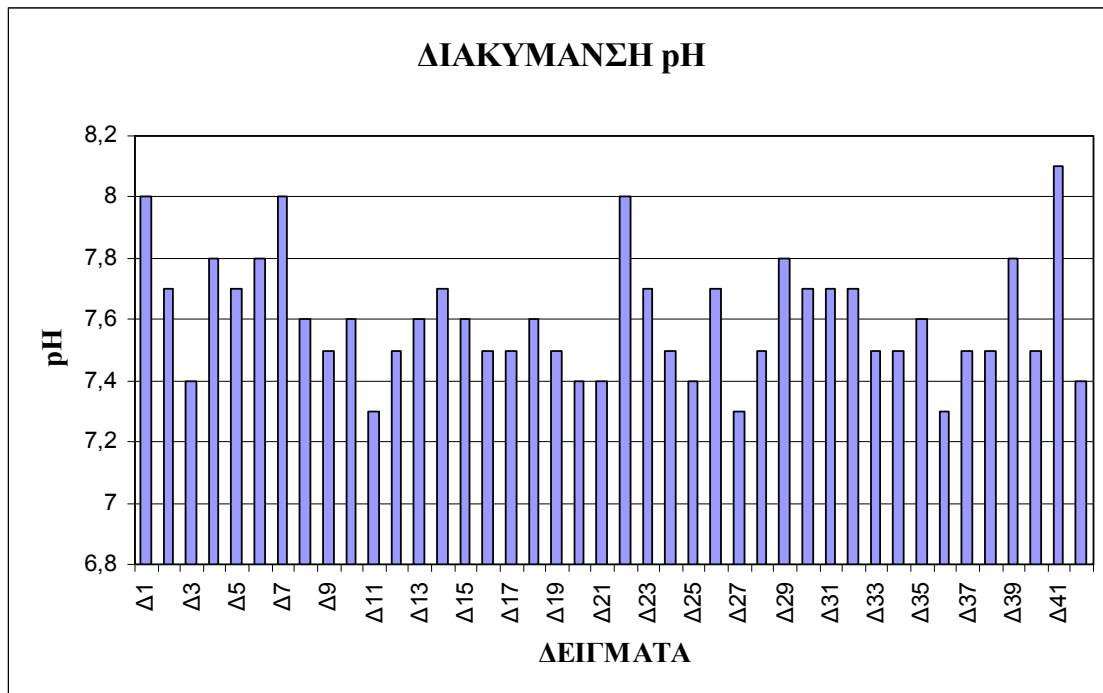
Το pH ενός διαλύματος ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμός της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου και κυμαίνεται από 0 (πολύ όξινο) μέχρι 14 (πολύ βασικό). Το δυναμικό οξειδοαναγωγής όμως, αποτελεί το μέτρο της ενέργειας, που απαιτείται για την μετακίνηση ηλεκτρονίων, από ένα ιόν σ' ένα συγκεκριμένο χημικό περιβάλλον, και επιδρά στην ποιότητα του υπόγειου νερού (Ταβουλάρης, 2008).

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων, το pH κυμαίνεται από 7,3 έως 7,7, με μία μέση τιμή 7,4, υποδηλώνοντας την αλκαλική συμπεριφορά τους, ενώ η τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh) κυμαίνεται από +268 mV έως +407 mV, με μία μέση τιμή +327 mV. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν τις ελαφρώς οξειδωτικές συνθήκες, οι οποίες επικρατούν στους υδροφόρους ορίζοντες των αλλουβιακών αποθέσεων (Παράρτημα - Πίνακας 6).

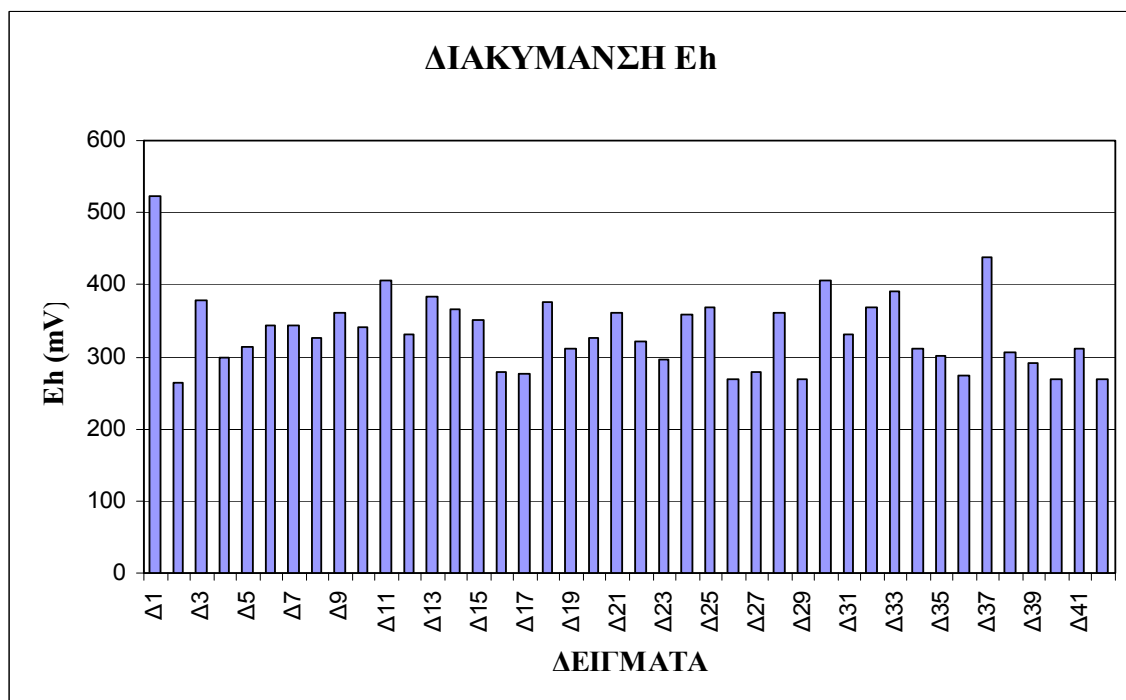
Στη καρστική υδροφορία, η διακύμανση του pH κυμαίνεται από 7,5 έως 8,1, με μια μέση τιμή 7,9, ενώ το δυναμικό οξειδοαναγωγής κυμαίνεται από +270 έως +322, με μία μέση τιμή +299. Οι τιμές του pH υποδηλώνουν μια αλκαλική συμπεριφορά, ενώ οι τιμές της οξειδοαναγωγής μαρτυρούν τις οξειδωτικές συνθήκες, που επικρατούν στα καρστικά συστήματα (Παράρτημα - Πίνακας 6).

Επίσης, παρατηρούμε, απ' τα σχήματα 7.2 και 7.3, ότι η μικρότερη τιμή pH και Eh εμφανίζεται στην παράκτια πηγή Ρήνα, στην περιοχή Παρθένι (Π1-Δ40), στην οποία, λόγω της εκβολής της, κάτω απ' τις γειτονικές αλλουβιακές αποθέσεις, δεν υπάρχει μεγάλη προσφορά οξυγόνου, γι' αυτό και η τιμή του Eh δεν πλησιάζει την τιμή +0,3V, την οποία την συναντάμε στην επιφάνεια της θάλασσας (Βουδούρης, 2009).

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων, η τιμή του pH κυμαίνεται από 7,3 έως 8 και εμφανίζει μια μέση τιμή 7,6. Οι παραπάνω τιμές, δικαιολογούν την αλκαλική συμπεριφορά τους. Επίσης, το δυναμικό οξειδοαναγωγής κυμαίνεται από +265mV έως +524mV, με μία μέση τιμή +340mV. Με βάση τιμές του Eh, οι υδροφόροι ορίζοντες των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων βρίσκονται σε οξειδωτικές συνθήκες (Παρ- Πίνακας 6).

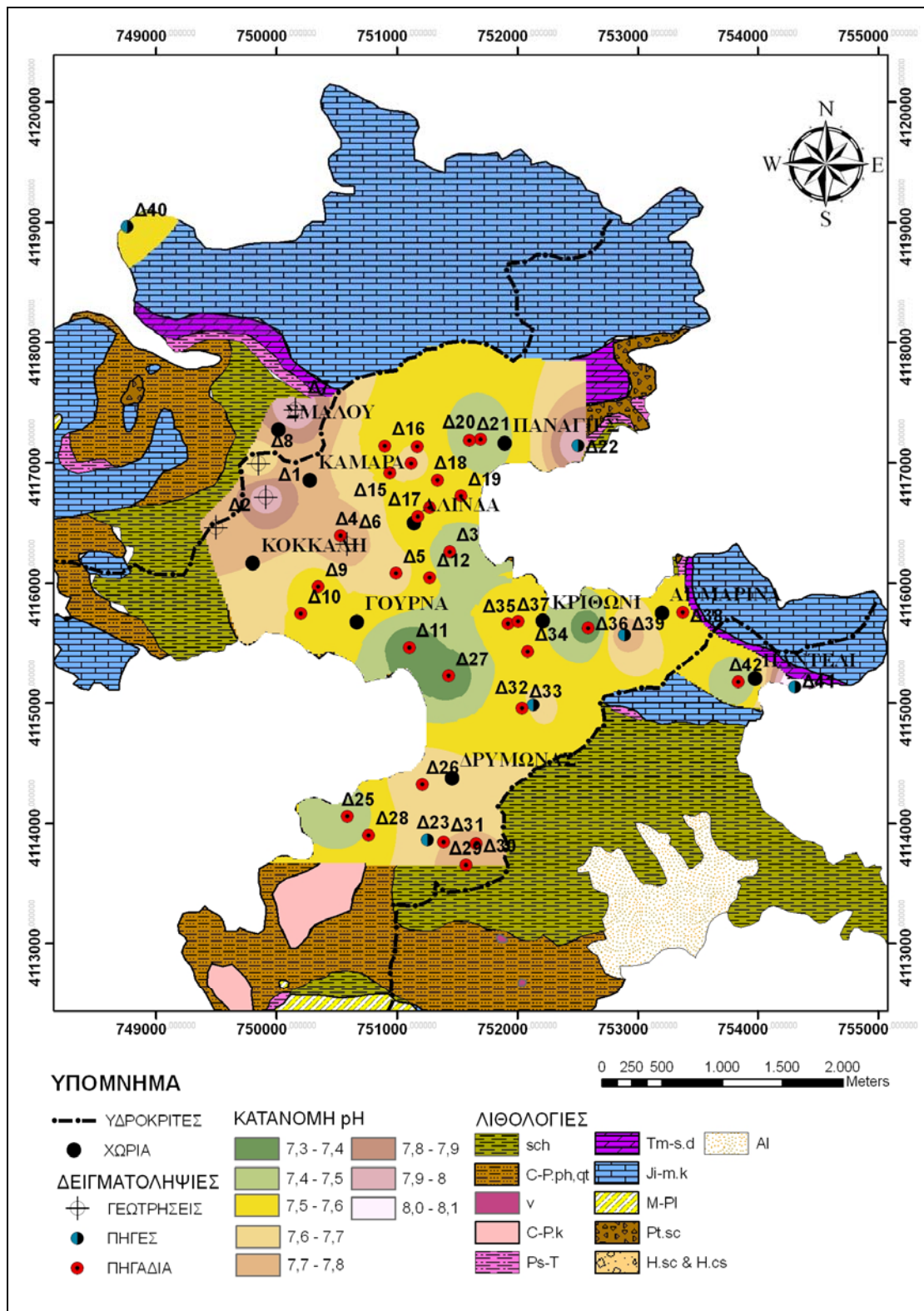


**Σχήμα 7.2:** Η διακύμανση του pH, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

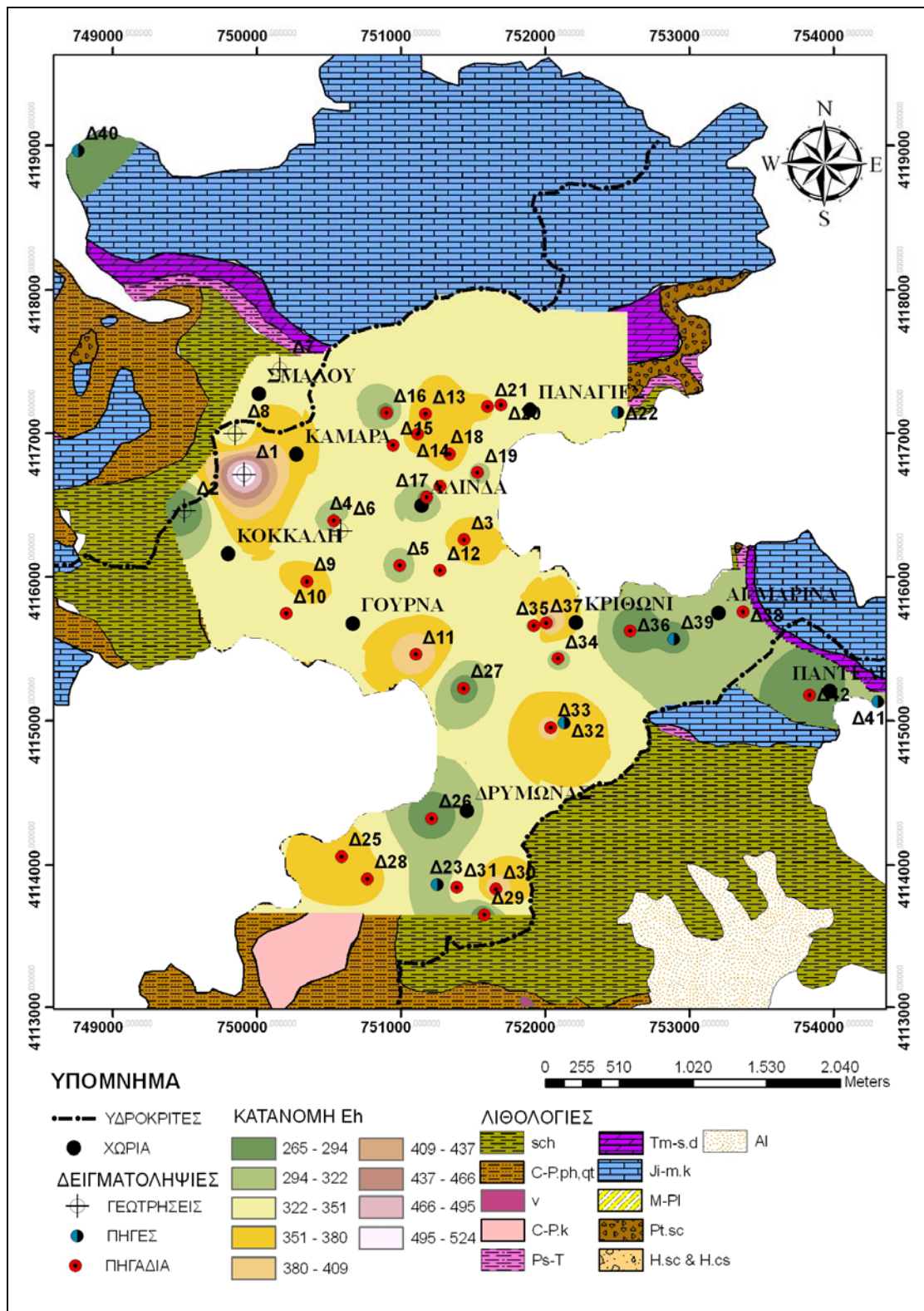


**Σχήμα 7.3:** Η διακύμανση του Eh, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.





**Εικόνα 7.4:** Χάρτης χωρικής κατανομής του pH των υπόγειων νερών, στο κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου.

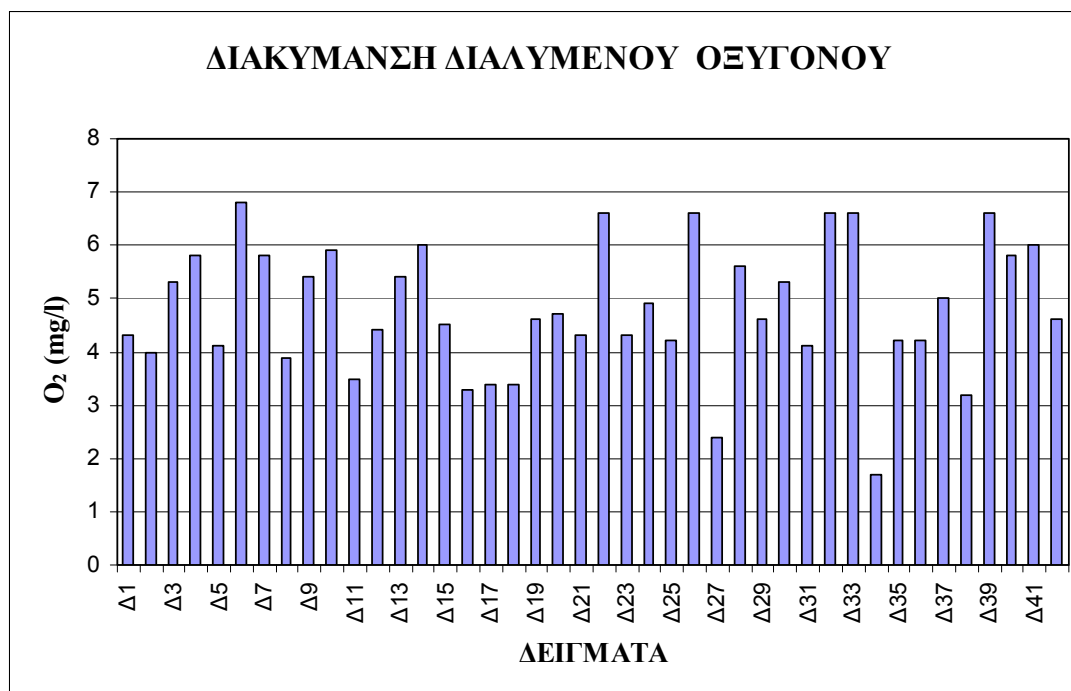


Εικόνα 7.5: Χάρτης χωρικής κατανομής του Eh, στο κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου.

### 7.4.3 Διαλυμένο οξυγόνο (O<sub>2</sub>).

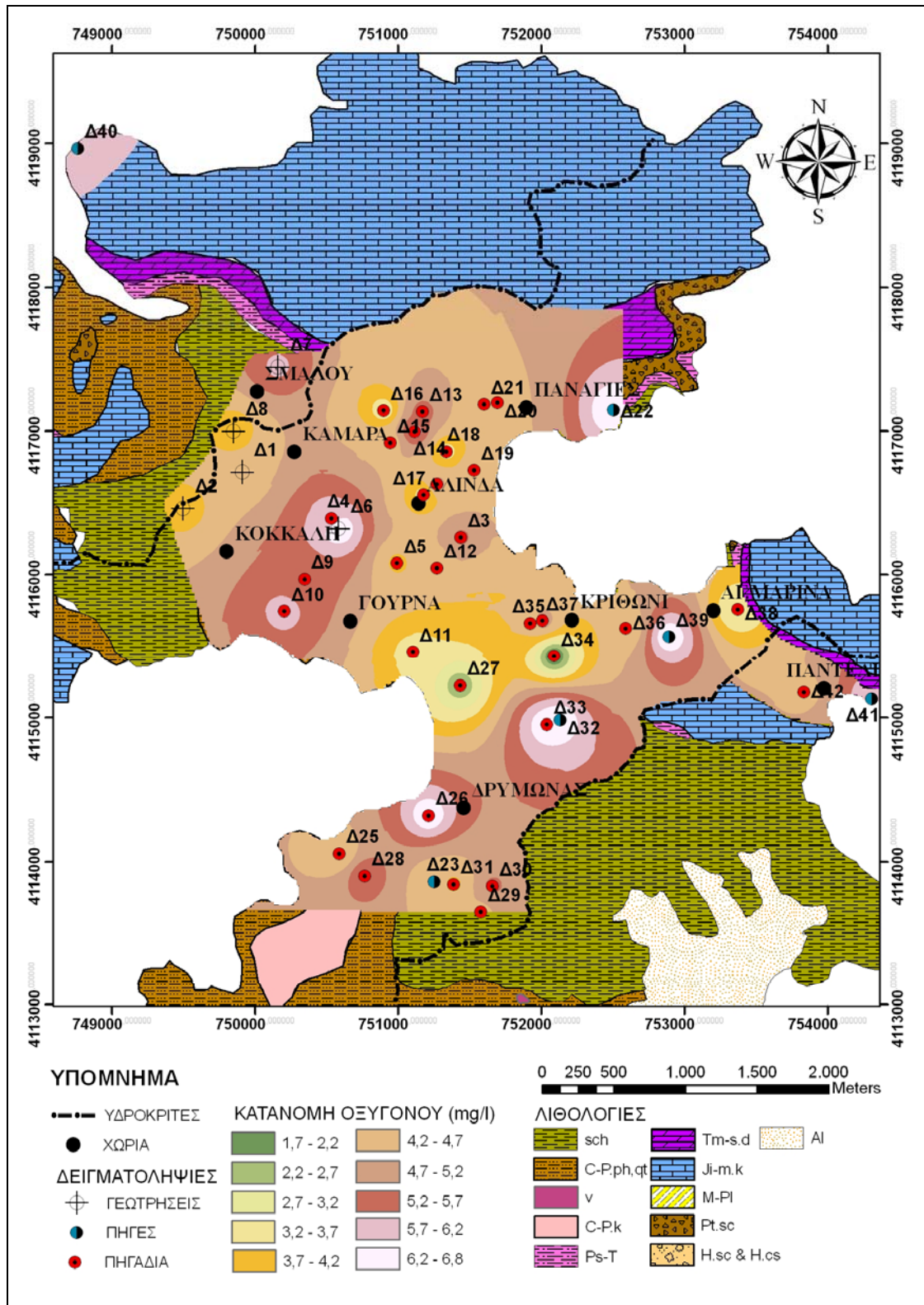
Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm, ενώ πολύ μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε νερά, που δεν ανανεώνονται. Γενικά, η διαλυτότητα εξαρτάται απ' την θερμοκρασία, την ποσότητα οργανικής ύλης, την παρουσία ή απουσία φυτών και τον βαθμό της διεύδυσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος (Βουδούρης, 2009).

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων, το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) κυμαίνεται από 2,4 mg/l έως 6,6 mg/l και έχει μία μέση τιμή 4,3 mg/l. Αυτές οι τιμές χαμηλές και δείχνουν ότι τα νερά δεν έχουν ανανεωθεί ή υφίστανται οργανική επιβάρυνση. Στην καρστική υδροφορία το O<sub>2</sub> κυμαίνεται από 5,8 mg/l έως 6,6 mg/l και έχει μια μέση τιμή 6,3 mg/l, ενώ στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, το O<sub>2</sub> κυμαίνεται από 1,7 mg/l έως 6,8 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 4,7 mg/l, που μας δείχνει ότι τα υπόγεια νερά δεν ανανεώνονται εύκολα (Σχ. 7.4).



**Σχήμα 7.4:** Η διακύμανση του διαλυμένου οξυγόνου, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στο χάρτη κατανομής του οξυγόνου (Εικ. 7.6) παρατηρούμε ότι οι χαμηλότερες τιμές οξυγόνου εμφανίζονται στις αλλουβιακές αποθέσεις, στις περιοχές Γούρνα και Κριθώνι, ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται, κυρίως σε όλες τις πηγές (Δ41, Δ22, Δ32, Δ23), αλλά και σε πηγάδια, τα οποία βρίσκονται δίπλα σε ανθρακικά πετρώματα και σε υψηλά τοπογραφικά σημεία (Δ13, Δ15, Δ28), δηλαδή εκεί, που το υπόγειο νερό ανανεώνεται εύκολα.

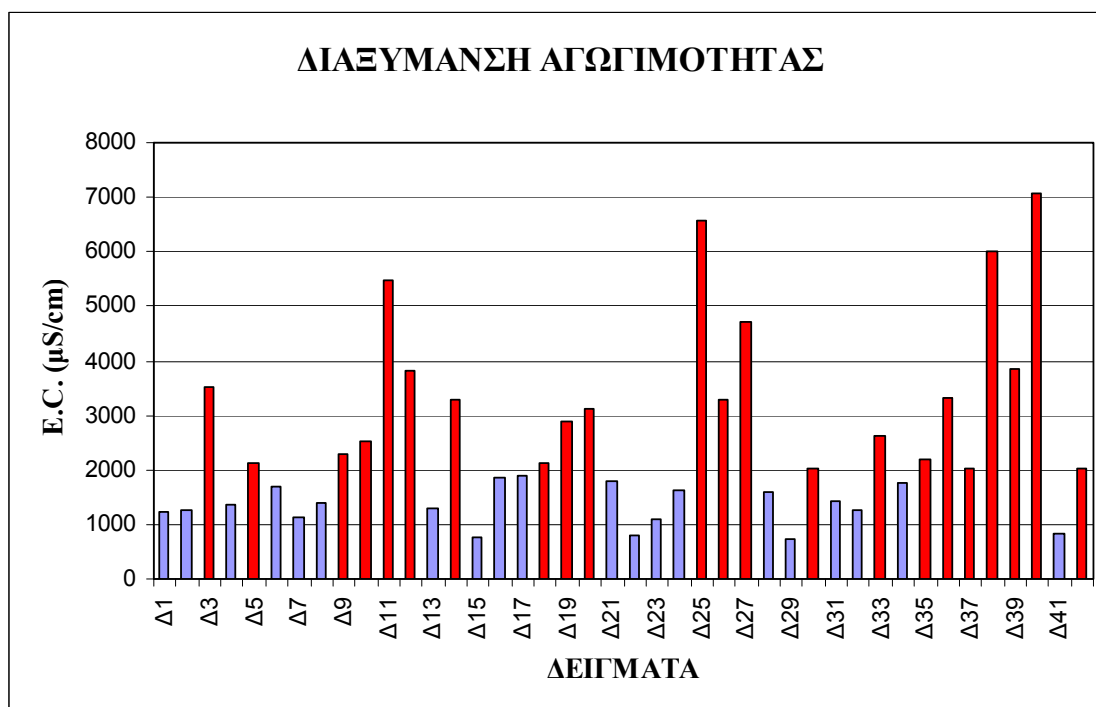


Εικόνα 7.6: Χάρτης χωρικής κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά, στο κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου.

#### 7.4.4 Αγωγιμότητα (E.C).

Σύμφωνα με τον Σούλιο (2010), τα υπόγεια νερά, που εμφανίζουν τιμές αγωγιμότητας από 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , χαρακτηρίζονται ελαφρά, ενώ πάνω από 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  χαρακτηρίζονται βαριά. Επίσης, τα υφάλμυρα νερά έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα, πάνω από 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως και 30.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ενώ κάποιες σαλαμούρες (παλιά υφάλμυρα νερά) έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα έως και πάνω από 100.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Στην Λέρο και ειδικότερα στο κεντρικό τμήμα του νησιού, έχουμε κυρίως υφάλμυρα νερά, αφού η αγωγιμότητα έχει τιμές πάνω από 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ενώ τα γλυκά νερά έχουν περιορισμένη εμφάνιση (Σχ. 7.5).



**Σχήμα 7.5:** Η διακύμανση της αγωγιμότητας, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υφάλμυρα νερά.

Επίσης, τα πηγάδια, τα οποία βρίσκονται σε υψηλά τοπογραφικά σημεία χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Προφανώς, το κατεισδυόμενο νερό της βροχής, που δέχονται, δεν προλαβαίνει να διανύσει μια μεγάλη διαδρομή και να εμπλουτιστεί με άλατα από τα πετρώματα, και επομένως η αγωγιμότητα τους να μην αυξάνεται σε μεγάλες τιμές.

Η διακύμανση της αγωγιμότητας, στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων, κυμαίνεται από 2.880  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 6.580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και εμφανίζουν μια μέση τιμή 4.588  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Οι παραπάνω τιμές, δείχνουν ότι τα υπόγεια νερά έχουν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από την διείσδυση της θαλάσσιας (Παράρτημα - Πίνακας 6).

Η διακύμανση της αγωγιμότητας, στη καρστική υδροφορία, κυμαίνεται από 798  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 7.070  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και έχουν μια μέση τιμή 3.136  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Παρ - Πίνακας 6). Οι παραπάνω τιμές, δείχνουν ότι έχουμε γλυκά και υφάλμυρα νερά. Συγκεκριμένα, τα δείγματα Δ22 και Δ41, αντιπροσωπεύουν τις πηγές Συκίδια (Π8) και Παναγίες (Π5), οι οποίες έχουν παρόμοια τιμή αγωγιμότητας και χαρακτηρίζονται γλυκά νερά, ενώ η πηγή Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39) εμφανίζει υψηλή τιμή αγωγιμότητας, προφανώς λόγω της μόλυνσης τους από τους απορροφητικούς βόθρους. Επίσης, το δείγμα Δ40 αντιπροσωπεύει την παράκτια πηγή Ρήνα (Π1), του καρστικού συστήματος στην περιοχή Παρθένι. Η υψηλή τιμή της (7.070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) δείχνει την υφαλμύρωση της απ' την διείσδυση του θαλασσινού νερού (Σχ. 7.5).

Στα υπόγεια νερά, που φιλοξενούνται απ' τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 736  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 6.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και εμφανίζουν μια μέση τιμή 2.062  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Παρ- Πίνακας 6). Οι παραπάνω τιμές χαρακτηρίζουν τα υπόγεια νερά υφάλμυρα, εκτός από τα δείγματα Δ7, Δ15, Δ29, και Δ23, τα οποία χαρακτηρίζονται γλυκά. Επίσης, οι γεωτρήσεις Σμαλού (Δ1) και Αγ. Ελεούσα (Δ2), οι οποίες χρησιμοποιούνται απ' το δίκτυο ύδρευσης του Δήμου, εμφανίζουν τιμές 1.240  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και 1.264  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , και μπορούν να χαρακτηριστούν ως γλυκά νερά (Σχ. 7.5).

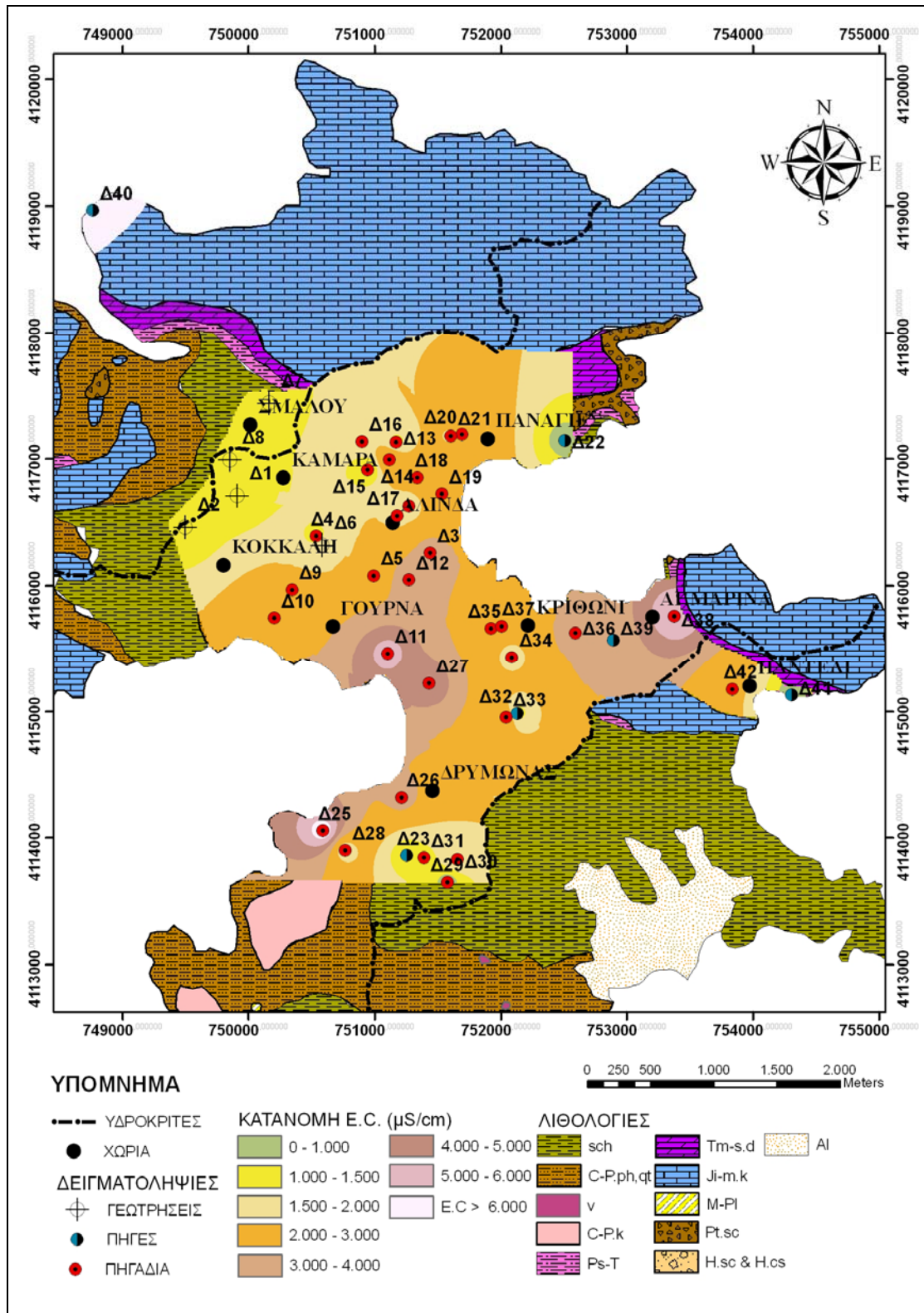
Γενικά, στον χάρτη κατανομής της αγωγιμότητας (Εικ. 7.7), παρατηρούμε ότι, όσον απομακρυνόμαστε απ' τις ακτές προς στην ενδοχώρα, η αγωγιμότητα μειώνεται, αφού η διείσδυση της θάλασσας δεν μπορεί να μολύνει τις υψηλότερες τοπογραφικά περιοχές, άρα και να αυξήσει την αλατότητα των υπόγειων νερών.

#### **7.4.5 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS - Total Dissolved Solids).**

Η παρουσία των αλάτων στο υπόγειο νερό, η οποία σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων, στα οποία κινείται, με τον χρόνο παραμονής και με την ταχύτητα ροής, εκφράζεται στις υδροχημικές αναλύσεις με το TDS (Total Dissolved Solids). Το T.D.S εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κolloειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλαδή, το T.D.S αποτελεί έναν δείκτη μεταλλικότητας και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις: α) T.D.S (ppm)  $\approx A \times (EC) (\mu\text{S}/\text{cm})$  και β) T.D.S (meq/l)  $\approx 0,01 \times (EC) (\mu\text{S}/\text{cm})$ , όπου ο συντελεστής A παίρνει τιμές μεταξύ 0,54-0,96 (Βουδούρης, 2009).

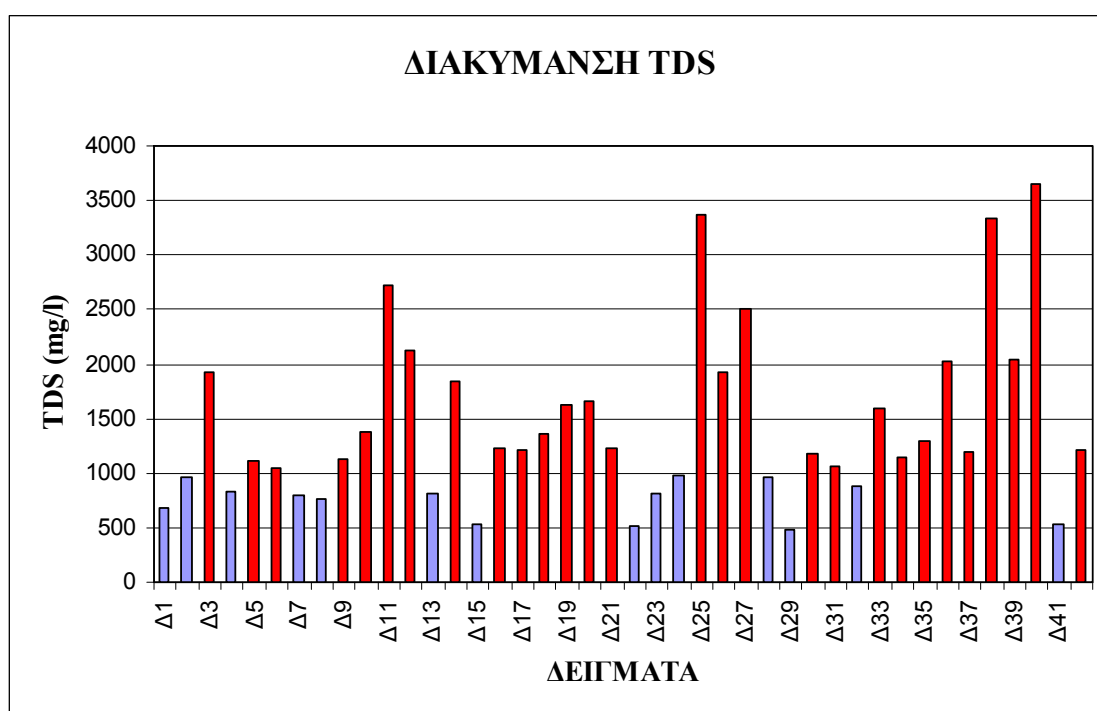
Συνήθως, οι τιμές, που εμφανίζονται στα υπόγεια νερά, είναι συνήθως κάτω από 500 mg/l, αλλά γενικά, το TDS μπορεί να κυμαίνεται από 100 έως 100.000 mg/l (Καλλέργης, 2000). Αν οι τιμές του TDS, κυμαίνονται μεταξύ 0 έως 1.000 mg/l, το νερό είναι γλυκό, μεταξύ 1.000 mg/l έως 10.000 mg/l θεωρείται υφάλμυρο, μεταξύ 10.000 mg/l έως 100.000 mg/l είναι αλμυρό

και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/l θεωρείται υπεραλμυρό «σαλαμούρα» (Davis-De Wiest, 1966, Βουδούρης, 2009, Καλλέργης, 2000).



Εικόνα 7.7: Χάρτης χωρικής κατανομής της αγωγιμότητας (E.C.), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Με βάση την παραπάνω κατάταξη και τον υπολογισμό του TDS στα δείγματα (Δ1-Δ42), παρατηρούμε ότι τα περισσότερα υπόγεια νερά στην περιοχή μελέτης θεωρούνται υφάλμυρα (Σχ. 7.6). Επίσης, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό υγείας (WHO), το ανώτερο όριο TDS είναι 1000 mg/l, ενώ ένα νερό με TDS μικρότερο από 300mg/l χαρακτηρίζεται ως «θαυμάσιο». Τέτοια νερά δεν υπάρχουν στο κεντρικό τμήμα του νησιού. Τα δείγματα υπόγειου νερού Δ22, Δ41, Δ15, και Δ29, μπορούν να χαρακτηριστούν «καλά» νερά, αφού ανήκουν στην κατηγορία 300-600 mg/l (Singhal & Gupta, 1999).



**Σχήμα 7.6:** Η διακύμανση του TDS, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υφάλμυρα νερά.

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, το TDS των υπόγειων νερών κυμαίνεται από 1.623 mg/l έως 3.373 mg/l και έχει μια μέση τιμή 2.430 mg/l (Παρ. Πίνακας 8). Με βάση λοιπόν τις παραπάνω τιμές, μπορούν να χαρακτηριστούν υφάλμυρα.

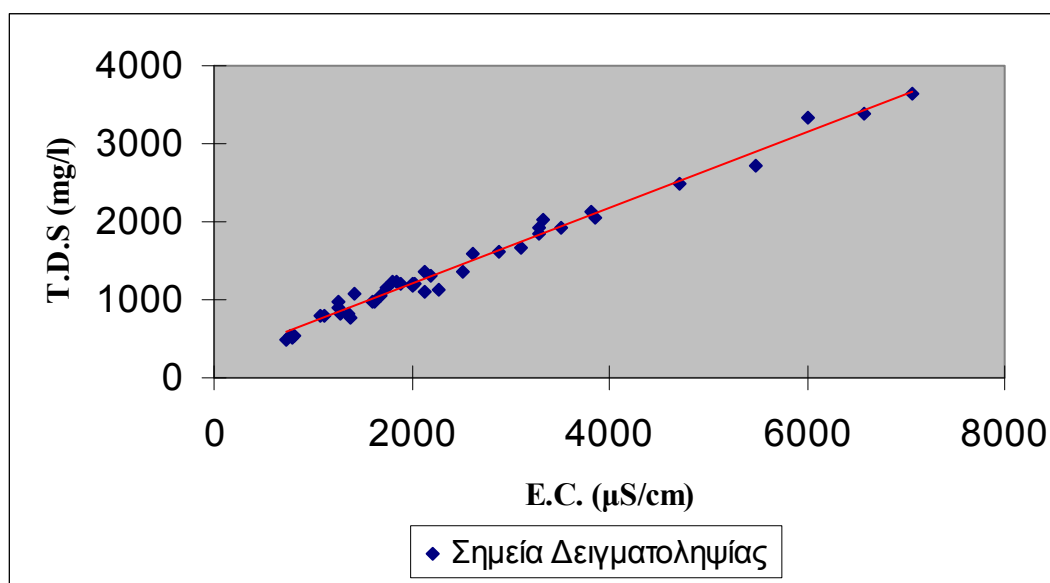
Το TDS στην καρστική υδροφορία κυμαίνεται από 508 mg/l έως 3.646 mg/l και έχει μία μέση τιμή 1680 mg/l (Παρ. Πίνακας 8). Με βάση λοιπόν τις παραπάνω τιμές, μπορούν να χαρακτηριστούν τα υπόγεια νερά από γλυκά ως υφάλμυρα νερά. Ειδικότερα, τα δείγματα Δ22 και Δ41 αντιπροσωπεύουν τις πηγές Συκίδια (Π8) και Παναγίες (Π5), οι οποίες εκφορτίζουν γλυκό νερό (Σχ. 7.6). Το δείγμα Δ40, αντιπροσωπεύει την παράκτια πηγή Ρήνα, που λόγω της επικοινωνίας της με την θάλασσα, η τιμή TDS είναι αυξημένη (3646 mg/l), κατά συνέπεια μπορεί να χαρακτηριστεί υφάλμυρη, ενώ η πηγή του Αγ. Αντωνίου (Δ39) δεν μπορεί να



θεωρηθεί υφάλμυρη, λόγω της διείσδυσης της θάλασσας, αφού βρίσκεται σε ένα υψόμετρο 38m. Σ' αυτήν την περίπτωση, θεωρούμε ότι η αυξημένη συγκέντρωση του TDS οφείλεται προφανώς στην μόλυνση της από κάποιον ανθρωπογενή παράγοντα, επειδή βρίσκεται σε πυκνοκατοικημένη περιοχή.

Στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, το TDS των υπόγειων νερών κυμαίνεται από 488 mg/l έως 3.330 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 1237 mg/l (Παρ. Πίνακας 8). Με βάση τις παραπάνω τιμές, τα πετρώματα αυτά φιλοξενούν γλυκά έως υφάλμυρα νερά. Επίσης, τα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων Σμαλού (Δ1) και Αγ. Ελεούσα (Δ2), χαρακτηρίζονται γλυκά (Σχ. 7.6), σύμφωνα με τον WHO. Τα υφάλμυρα νερά εμφανίζονται κυρίως σε παράκτιες περιοχές, ενώ τα γλυκά νερά εμφανίζονται σε υψηλές τοπογραφικά περιοχές, δηλαδή σε πηγάδια και γεωτρήσεις, όπου η πιεζομετρική στάθμη βρίσκεται σε θετικά υψόμετρα.

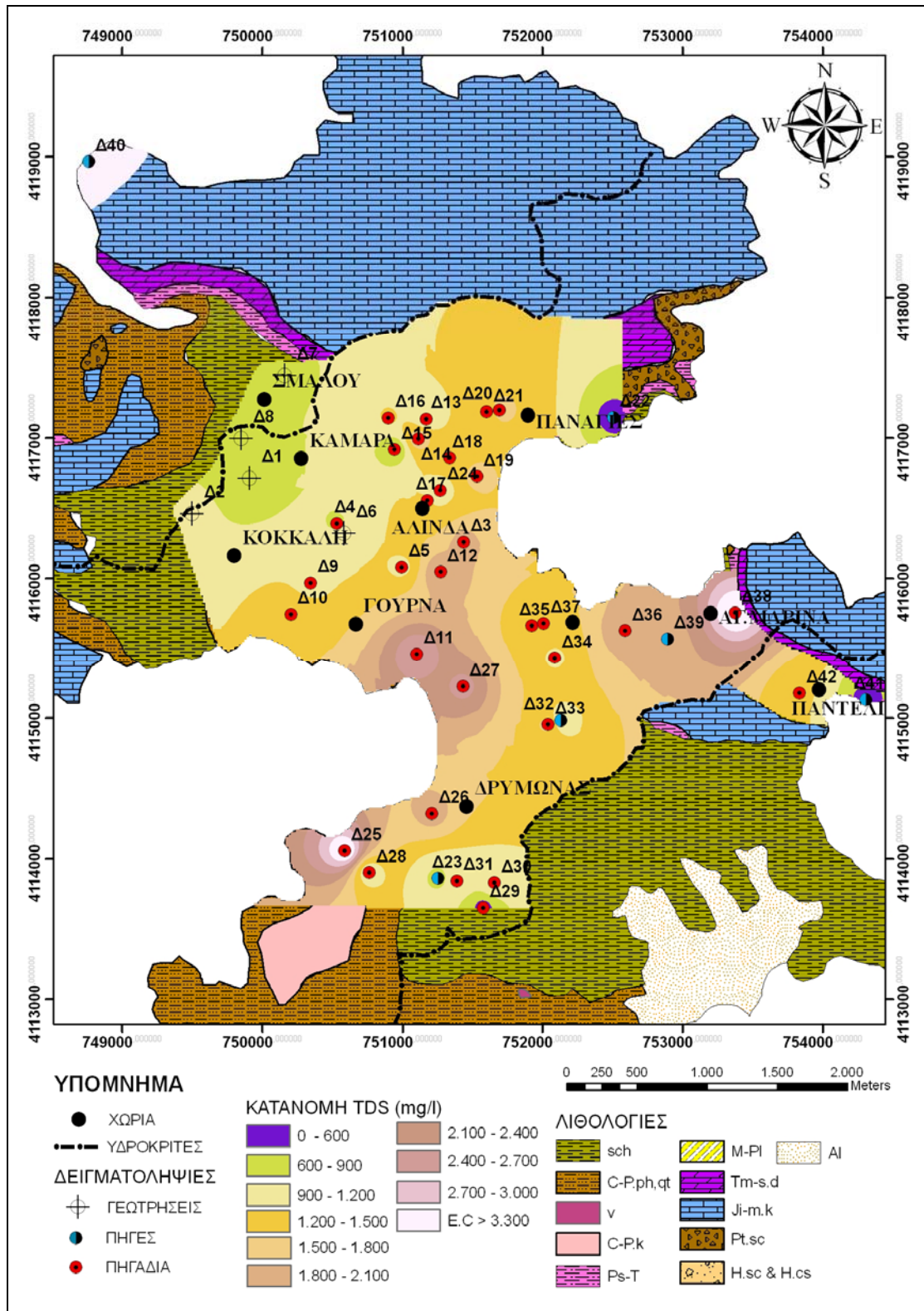
Στο σχήμα 7.7 φαίνεται η γραμμική σχέση ανάμεσα στο TDS και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C), με συντελεστή συσχέτισης (R) 0.99 και με τύπο της εξίσωσης:  $y = ax + b \rightarrow TDS = 0.49 \times (E.C.) + 218.7$ . Σε αυτήν, παρατηρούμε ότι η γραμμική σχέση ισχύει όχι μόνο για δείγματα κάτω από 2000  $\mu S/cm$  (Σούλιος, 2006), αλλά και πάνω από 2.000  $\mu S/cm$ .



**Σχήμα 7.7:** Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.), με συντελεστή παλινδρόμησης 0,99.

Οι προαναφερόμενες παρατηρήσεις γίνονται εμφανείς στον χάρτη κατανομής των ολικών διαλυμένων αλάτων (TDS), όπου οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στις αλλουβιακές αποθέσεις όλων των περιοχών, εκτός από την περιοχή Παντέλι, όπου το πηγάδι Δ42 τροφοδοτείται απ' τους γειτονικούς σχιστόλιθους (Εικ. 7.8). Επίσης, οι χαμηλότερες τιμές

εμφανίζονται στις πηγές που αναβλύζουν σε υψηλά τοπογραφικά σημεία της περιοχής, εκτός από την πηγή Ρήνα (Π1-Δ40) και Αγ. Αντωνίου (Π3-Δ39).



**Εικόνα 7.8:** Χάρτης χωρικής κατανομής του TDS, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

#### 7.4.6 Σκληρότητα.

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το  $\text{Ca}^{2+}$  και το  $\text{Mg}^{2+}$ . Γενικά η σκληρότητα διακρίνεται σε: α) ολική σκληρότητα, β) παροδική ή ανθρακική σκληρότητα και γ) μόνιμη σκληρότητα.

Η ολική σκληρότητα είναι το άθροισμα της ανθρακικής σκληρότητας και της μόνιμης σκληρότητας. Τα νερά, με βάση την ολική σκληρότητα, ταξινομούνται σε μαλακά, μέτρια σκληρά, σκληρά και πολύ σκληρά, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 7.1.

Η παροδική ή ανθρακική σκληρότητα προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του  $\text{Ca}^{2+}$  και του  $\text{Mg}^{2+}$ , δηλαδή:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  και  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα απ' τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το  $\text{CO}_2$ , που ελευθερώνεται από την βακτηριδιακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί, τα άλατα αυτά αποσυντίθενται στα αντίστοιχα ανθρακικά και καθιζάνουν ως ίζημα.

Η μόνιμη σκληρότητα προέρχεται απ' την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων κυρίως με το θειικό ιόν, το ιόν του χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειικών ιόντων είναι η οξειδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών (Βουδούρης, 2009).

**Πίνακας 7.1:** Ταξινόμηση των νερών με βάση την σκληρότητα. (Τροποποιημένος πίνακας - Βουδούρης, 2009).

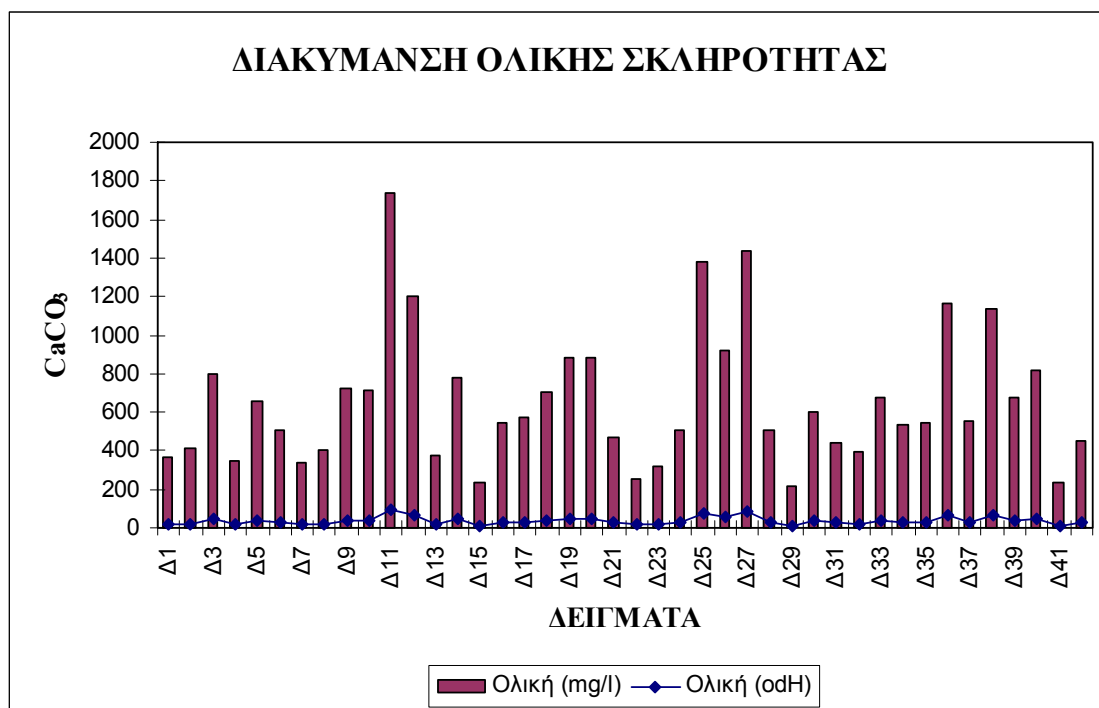
Ισοδύναμο $\text{CaCO}_3$ (mg/l)	Γαλλικοί βαθμοί	Γερμανικοί Βαθμοί ( $^{\circ}\text{dH}$ )	Χαρακτηρισμός του νερού
0 - 100	0 - 10	0 - 5,6	Μαλακό
101 - 200	10 - 20	5,7 - 11,2	Μέτρια σκληρό
201 - 300	20 - 30	11,3 - 16,9	Σκληρό
> 300	> 30	> 16,9	Πολύ σκληρό

Στο κεντρικό τμήμα του νησιού, τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται από σκληρά μέχρι πολύ σκληρά, με βάση τις τιμές της ολικής σκληρότητας, που μετρήθηκε στα δείγματα Δ1 - Δ42. Επίσης, από τα δείγματα Δ1 έως Δ42, τα δείγματα Δ1, Δ2, Δ4, Δ7, Δ8, Δ13, Δ15, Δ21, Δ22, Δ23, Δ29, Δ31, Δ32 και Δ41, έχουν μια τιμή κάτω από 500mg/l  $\text{CaCO}_3$ , που θεωρείται το ανώτερο όριο για ένα πόσιμο νερό, συμφωνά με τον Παγκόσμιο Οργανισμό υγείας (Singhal & Gupta, 1999).

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η ολική σκληρότητα των υπόγειων νερών κυμαίνεται από 880 mg/l CaCO<sub>3</sub> (49,4 °dH) έως 1.740 mg/l CaCO<sub>3</sub> (97,8 °dH) και έχει μια μέση τιμή 1.272 mg/l CaCO<sub>3</sub> (71,5 °dH), (Παρ. Πίνακας 7). Με βάση λοιπόν τον παραπάνω πίνακα 7.1, τα νερά αυτά χαρακτηρίζονται πολύ σκληρά.

Στη καρστική υδροφορία, η ολική σκληρότητα κυμαίνεται από 236 mg/l CaCO<sub>3</sub> (13,3 °dH) έως 820 mg/l CaCO<sub>3</sub> (46,1 °dH) και έχουν μια μέση τιμή 497 mg/l CaCO<sub>3</sub> (28 °dH), (Παρ. Πίνακας 7). Με βάση τον παραπάνω πίνακα 7.1, χαρακτηρίζονται από σκληρά μέχρι πολύ σκληρά. Συγκεκριμένα, η μικρότερη σκληρότητα εμφανίζεται στις πηγές Συκίδια (Π8-Δ41) και Παναγίες (Π5-Δ22).

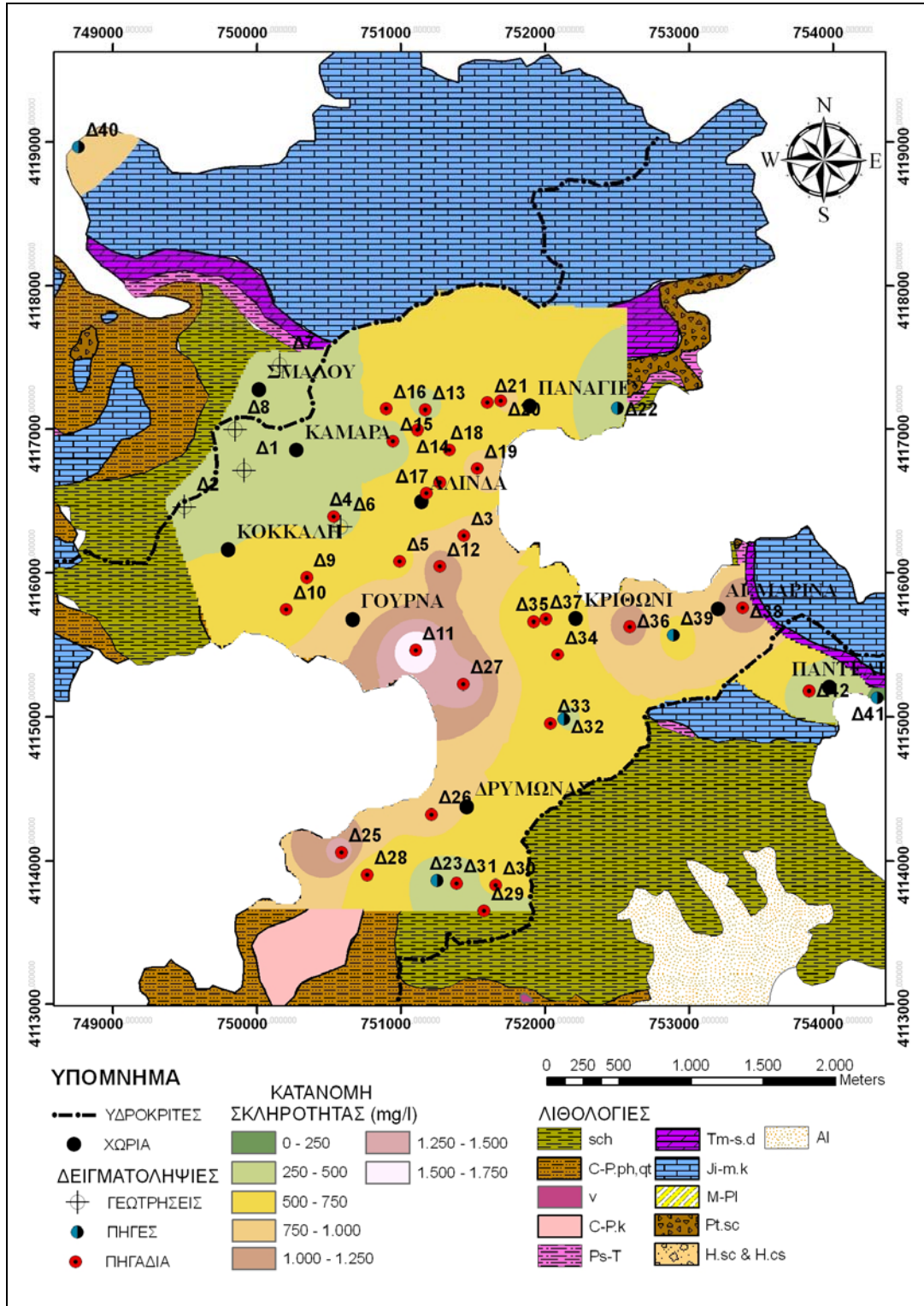
Στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, η ολική σκληρότητα των υπόγειων νερών κυμαίνεται από 212 mg/l CaCO<sub>3</sub> (11,9 °dH) έως 1200 mg/l CaCO<sub>3</sub> (67,4 °dH) και έχει μια μέση τιμή 578 mg/l CaCO<sub>3</sub> (32,5 °dH) (Παρ. Πίνακας 7). Με βάση τον παραπάνω πίνακα 7.1, χαρακτηρίζονται από σκληρά μέχρι πολύ σκληρά. Συγκεκριμένα, μόνο τα δείγματα Δ29 και Δ15 χαρακτηρίζονται σκληρά, σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, αφού βρίσκονται σε ψηλά τοπογραφικά σημεία, όπου το νερό ανανεώνεται εύκολα (Σχ. 7.8, Εικ 7.9).



**Σχήμα 7.8:** Η διακύμανση της ολικής σκληρότητας, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στο χάρτη κατανομής της ολικής σκληρότητας (Εικ. 7.9) παρατηρούμε ότι οι υψηλές τιμές της ολικής σκληρότητας εμφανίζονται στις αλλουβιακές αποθέσεις, στην παράκτια καρστική

πηγή Ρήνα (Π1-Δ40) και στη πηγή του Αγ. Αντωνίου (Π3-Δ39). Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στα δείγματα των νερών που προέρχονται από την ενδοχώρια περιοχή.

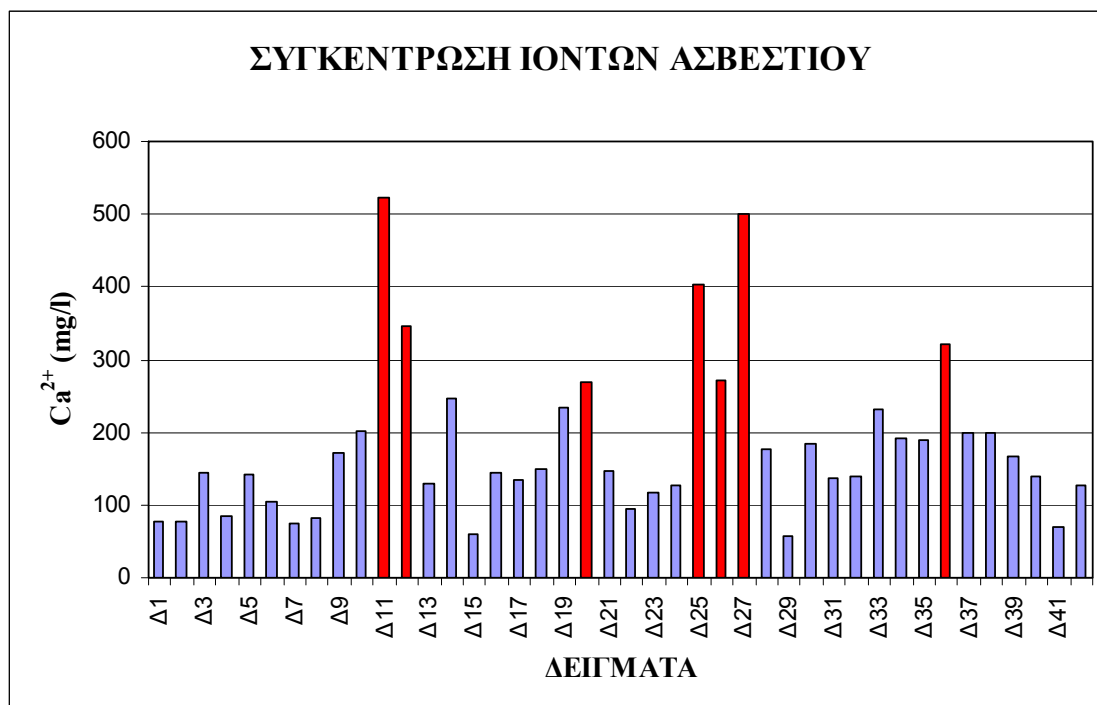


Εικόνα 7.9: Χάρτης χωρικής κατανομής της ολικής σκληρότητας, στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

## 7.5 Κύρια ιόντα.

### 7.5.1 Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 98/83 Ε.Κ, δεν υπάρχει κάποιο ενδεικτικό επίπεδο, όσον αφορά την συγκέντρωση του ασβεστίου στο πόσιμο νερό, αλλά με βάση την παλιά οδηγία 80/778 Ε.Κ, το ενδεικτικό επίπεδο είναι  $100 \text{ mg/l Ca}^{2+}$  και το ανώτερο όριο  $250 \text{ mg/l Ca}^{2+}$ . Με βάση τα παραπάνω όρια και τον χημικό προσδιορισμό του ασβεστίου, που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα, τα περισσότερα υπόγεια νερά, που φιλοξενούνται στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα και στα καρστικά υδροσυστήματα, τοποθετούνται μέσα σ' αυτό το εύρος, ενώ στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων (εκτός Δ19), η συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{2+}$  υπερβαίνει το ανώτατο όριο (Σχ. 7.9).



**Σχήμα 7.9:** Η διακύμανση της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των  $250 \text{ mg/l}$  (80/778 Ε.Κ).

Γενικά, στις παράκτιες αλλουβιακές αποθέσεις, το υπόγειο νερό έρχεται σε επαφή με ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία προφανώς είναι πλούσια σε ορυκτά ασβεστίου και μαγνησίου, όπως είναι ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), ο αραγωνίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), ο δολομίτης ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), ο ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ) και ο γύψος ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Κατά συνέπεια, το ασβέστιο προέρχεται απ' την διάλυση των ορυκτών αυτών. Επίσης, το ασβέστιο, μέσα στο υπόγειο νερό, μπορεί να προέρχεται απ' την διάβρωση ορυκτών από τα μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως

είναι ο απατίτης, ο βολλαστονίτης, οι άστριοι και ορυκτά απ' την ομάδα των αμφιβόλων και πυροξένων.

Σύμφωνα με τον χάρτη κατανομής του ασβεστίου (Εικ. 7.10), το κεντρικό τμήμα της νήσου Λέρου χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Ca}^{2+}$ , οι οποίες δεν δικαιολογούνται μόνο από τους παραπάνω λόγους, αλλά και από την διείσδυση της θάλασσας και την εμφάνιση ιόντων καλίου ( $\text{K}^+$ ) και νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), που διευκολύνουν την διάλυση του  $\text{CaCO}_3$ .

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων η συγκέντρωση των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  κυμαίνεται από 234,4 mg/l έως 523,2 mg/l και εμφανίζει μία μέση τιμή 386,7 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι παραπάνω τιμές είναι αρκετά υψηλές και φανερόνουν ότι η προέλευση του ασβεστίου δεν είναι μόνο από την διάλυση των ανθρακικών ορυκτών, αλλά και της θαλάσσιας διείσδυσης.

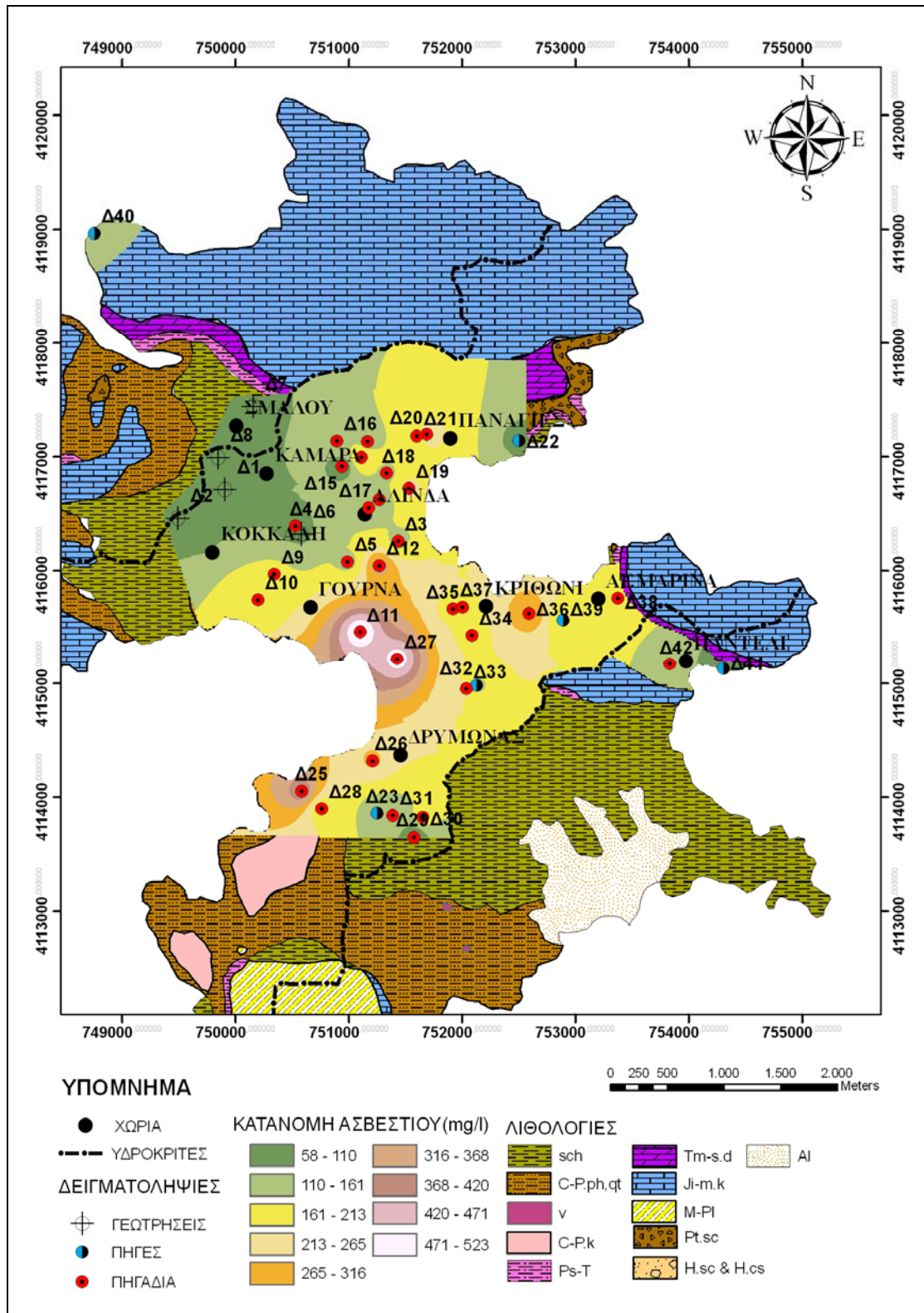
Επίσης κατά τον Καλλέργη (2001), όταν στην περιοχή υπάρχουν εβαποριτικά άλατα, τότε στα υπόγεια νερά εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις θεικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) που κυμαίνονται 50-300 mg/l ή ξεπερνούν τα όρια αυτά. Τα δείγματα που πάρθηκαν από τις αλλουβιακές αποθέσεις έχουν τιμές συγκέντρωσης που κυμαίνονται από 226 έως 274 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ . Πέραν της θαλάσσιας επίδρασης, δεν αποκλείεται και η πιθανή εμφάνιση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, που συμβάλλουν στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών σε θειικά ιόντα.

Επίσης, εκτός από το  $\text{H}^+$ , το οποίο προέρχεται από το ανθρακικό οξύ ή/και απ' τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ), το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) και το κάλιο ( $\text{K}^+$ ), αυξάνει την διαλυτότητα του  $\text{CaCO}_3$  (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966). Άρα, όσο μεγαλύτερη είναι η προσφορά του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και του καλίου ( $\text{K}^+$ ), τόσο μεγαλύτερη είναι η διάλυση του  $\text{CaCO}_3$ .

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, οι σχιστόλιθοι (C-P.ph,qt και sch) έχουν την δυνατότητα προσφοράς των δύο παραπάνω στοιχείων, αφού η ορυκτολογική τους σύσταση, αποτελείται από ορυκτά, που περιέχουν  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$ , όπως ο αλβίτης ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), ο τουρμαλίνης ((Na, Ca)(Li, Mg, Al)<sub>3</sub>(Al, Fe, Mn)<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>4</sub>), ο μοσχοβίτης { $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_2)(\text{OH})_2$ } και ο βιοτίτης { $\text{K}(\text{Fe, Mg})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ }, τα οποία βρίσκονται είτε με την μορφή κλαστικών κόκκων ή έχουν μεταφερθεί τα αντίστοιχα στοιχεία, μέσω του επιφανειακού και υπόγειου νερού, στα αλλουβιακά πεδία απόθεσης. Τέλος, η διάλυση του  $\text{CaCO}_3$  αυξάνεται από την διάλυση του αραγωνίτη, ο οποίος είναι περισσότερο διαλυτός. Έτσι, όταν το νερό βρίσκεται σε ισορροπία με τον αραγωνίτη, είναι υπερκορεσμένο ως προς τον ασβεστίτη, με αποτέλεσμα ο αραγωνίτης να διαλύεται και να απελευθερώνει ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ , ενώ ο ασβεστίτης αποτίθεται ως ίζημα (Καλλέργης, 2000).

Στην καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{2+}$  κυμαίνεται από 70,4 mg/l έως 165,6 mg/l και έχει μια μέση τιμή 117,2 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Με βάση τις παραπάνω τιμές, μπορούμε να ταξινομήσουμε τις καρστικές πηγές σε δύο κατηγορίες: α) τις πηγές που έχουν

χαμηλή μεταλλικότητα, δηλαδή τις πηγές, που το TDS κυμαίνεται από 250 έως 500 mg/l (Καλλέργης, 2001) και β) αυτές που εμφανίζουν μεγάλη μεταλλικότητα.



Εικόνα 7.10: Χάρτης της χωρικής κατανομής του ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.



Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι πηγές Συκίδια (Π8-Δ41) και Παναγίες (Π5-Δ22). Η συγκέντρωση του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) έχει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 50 και 70 mg/l. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι πηγές Αγ. Αντωνίου και Ρήνα (Π3-Δ39 και Π1-Δ40). Η πηγή Ρήνα είναι μια παράκτια καρστική πηγή που επηρεάζεται από την θάλασσα, ενώ η υψηλή συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{2+}$  στην πηγή του Αγ. Αντωνίου οφείλεται προφανώς στην διάλυση του ασβεστίτη.

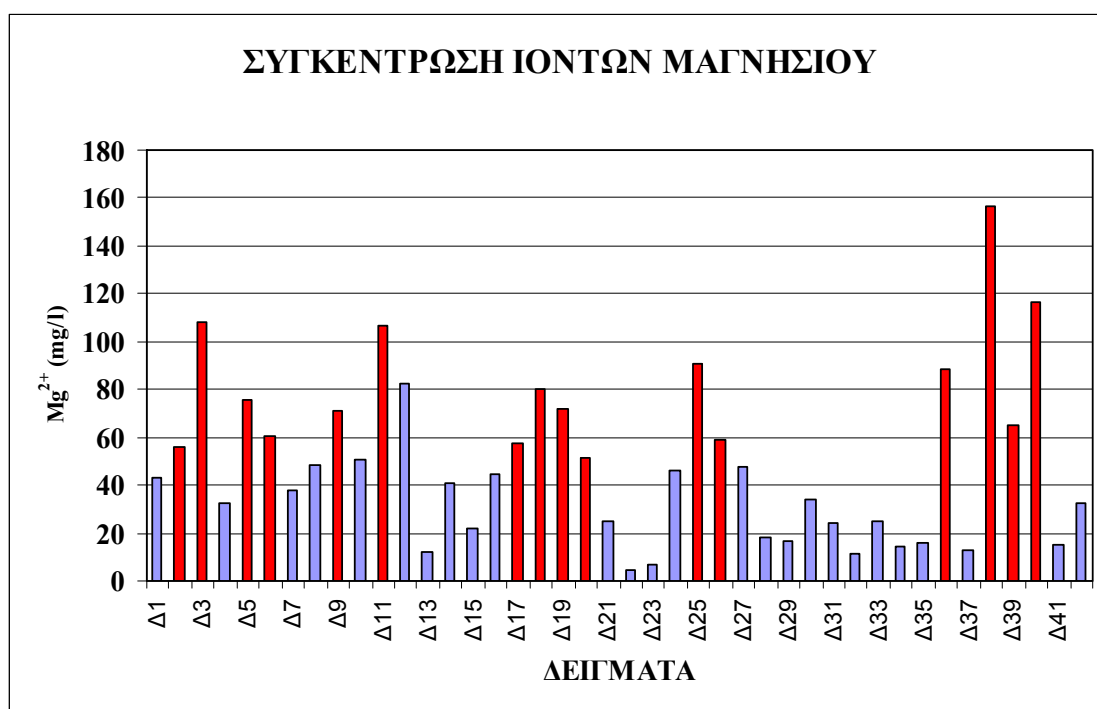
Στα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα η συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{2+}$  κυμαίνεται από 57,6 mg/l έως 346,6 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 157 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Με βάση την μέση τιμή, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η συγκέντρωση του  $\text{Ca}^{2+}$  οφείλεται στα ασβεστόχα ορυκτά των μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων, που βρίσκονται με την μορφή φακών μαρμάρων και ανθρακικών κρυσταλλικών ενστρώσεων, μέσα στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Αυτά, σε συνδυασμό με τις μεγάλες συγκεντρώσεις των όξιων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ), διευκολύνουν την διάλυση του  $\text{Ca}^{2+}$  απ' τα ανθρακικά ορυκτά (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966). Επίσης, το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) μπορεί να προέχεται από την κερροσίλβη, από ορυκτά που ανήκουν την ομάδα του επιδότου, τον κυανίτη και από αστρίους ενδιάμεσης βασικής σύστασης (I.G.M.E, 1999). Τέλος, προς την κατεύθυνση της διάλυσης, βοηθάει η αφθονία των πετρωμάτων σε αλβίτη, μοσχοβίτη, βιοτίτη και τουρμαλίνη, τα οποία είναι πλούσια σε  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$  (Stanley Davis & Roger DeWiest, 1966).

### 7.5.2 Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 98/83 E.K, δεν υπάρχει κάποιο ενδεικτικό επίπεδο, όσον αφορά την συγκέντρωση του  $\text{Mg}^{2+}$  στο πόσιμο νερό. Με βάση όμως την παλαιότερη οδηγία 80/778 E.K, το ενδεικτικό επίπεδο είναι 30 mg/l  $\text{Mg}^{2+}$  και το ανώτερο όριο 50 mg/l  $\text{Ca}^{2+}$  (Brassington, 1998). Με βάση λοιπόν τα παραπάνω όρια και τον χημικό προσδιορισμό του  $\text{Mg}^{2+}$ , που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα, παρατηρούμε ότι τα περισσότερα δείγματα τοποθετούνται στο παραπάνω εύρος, αλλά υπάρχουν και άλλα, τα οποία βρίσκονται κάτω από το όριο των 30 mg/l  $\text{Mg}^{2+}$  (Σχ. 7.10).

Γενικά, η κύρια πηγή τροφοδοσίας του μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) στο υπόγειο νερό είναι το ορυκτό δολομίτης, το οποίο το συναντάμε κυρίως στα δολομιτικά πετρώματα, αλλά και τα ορυκτά σερπεντίνης, τάλκης, διοψίδιος και τρεμολίτης, τα οποία τα συναντάμε στα μεταμορφωμένα πετρώματα (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966). Από τα παραπάνω ορυκτά, μόνο ο δολομίτης και ο τρεμολίτης (κεροσίλβη), μαζί με την νατριούχα αμφίβολο, μαγνησιοριβεκίτη ( $\text{Na}_2\text{Mg}^{+2}_3\text{Fe}^{+3}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), συμμετέχουν στην προσφορά μαγνησίου των υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος.

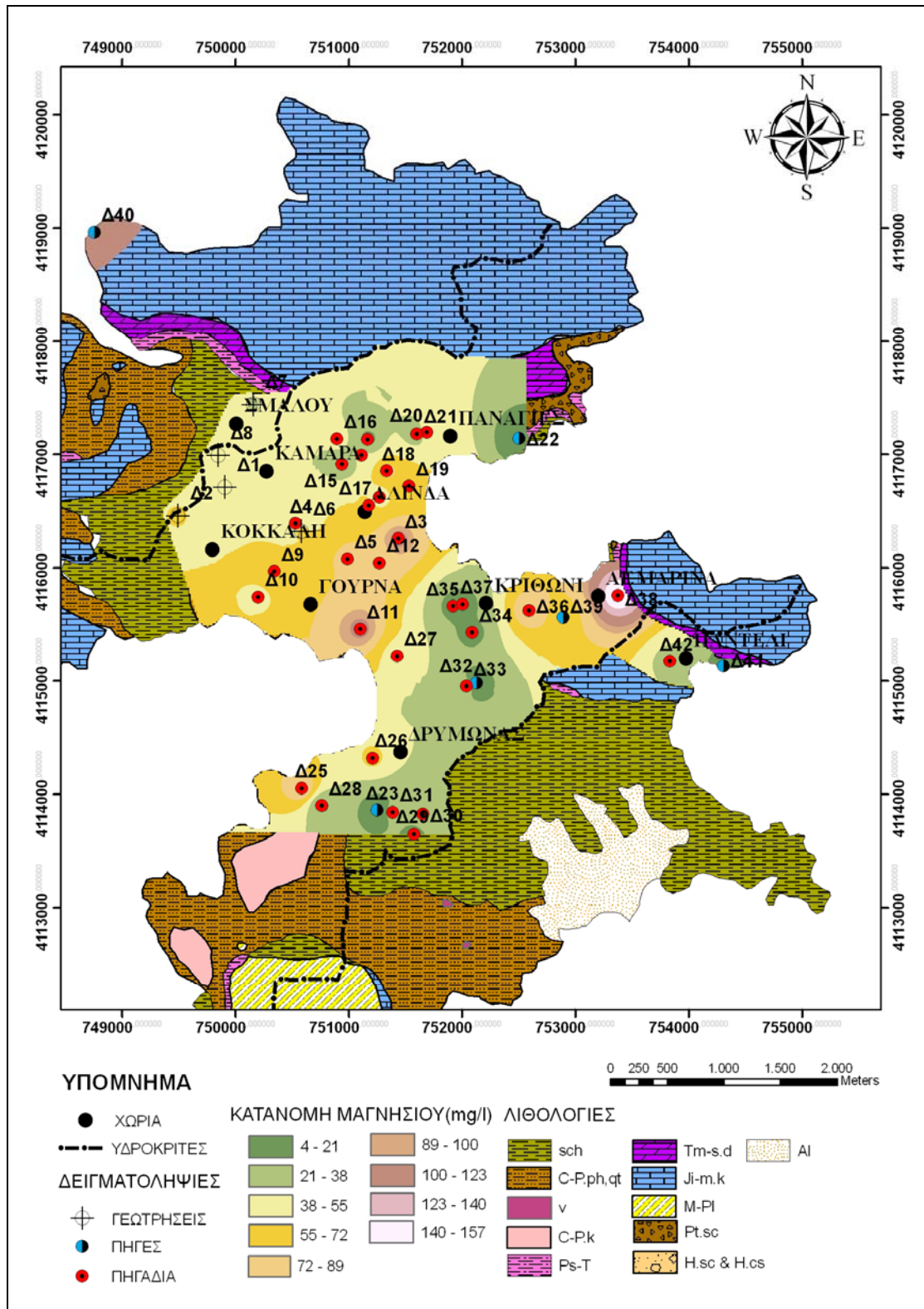
Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η συγκέντρωση του  $Mg^{2+}$  κυμαίνεται από 47,4 mg/l έως 106,5 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 75,1 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι τιμές αυτές οφείλονται, τόσο σε φυσική επιβάρυνση απ' την διάλυση και μεταφορά των αποσαθρωμένων υλικών των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων, όσο και απ' την θαλάσσια διείσδυση. Η θαλάσσια διείσδυση φαίνεται κυρίως στο δείγμα Δ11, όπου η συγκέντρωση του  $Mg^{2+}$  ξεπερνά τα 100 mg/l (Εικ. 7.11). Επίσης, οι Stanley N. Davis και Roger J.M. DeWiest (1966) θεωρούν, ότι τα 100 mg/l  $Mg^{2+}$  είναι ένα όριο, που δείχνει την αύξηση της συγκέντρωσης του  $Mg^{2+}$ , λόγω διείσδυσης του θαλασσινού νερού, αφού η συγκέντρωση του  $Mg^{2+}$  είναι πέντε φορές πιο υψηλή από του  $Ca^{2+}$  στο θαλασσινό νερό, σε σχέση με το γλυκό νερό.



**Σχήμα 7.10:** Η διακύμανση της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 50 mg/l (80/778 Ε.Κ).

Στη καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του  $Mg^{2+}$  κυμαίνεται από 4,3 mg/l έως 116,1 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 50,1 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι τιμές αυτές, σύμφωνα με την κατάταξη του Petric (1976), ο οποίος ταξινόμησε τα καρστικά νερά, με βάση την περιεκτικότητα του μαγνησίου, σε σχέση με την ολική σκληρότητα σε έξι τάξεις. Οι καρστικές πηγές της περιοχής μελέτης ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

α) οι πηγές Συκίδια (Π8-Δ41) και Παναγίες (Π5-Δ22), μπορούμε να τις εντάξουμε στην 1<sup>η</sup> κατηγορία, αφού εμφανίζουν μια περιεκτικότητα μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ) 6,3% και 1,7%, αντίστοιχα, πράγμα που σημαίνει ότι το νερό κυκλοφορεί σε σχετικά καθαρό ασβεστόλιθο.



Εικόνα 7.11: Χάρτης χωρικής κατανομής του μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

β) η πηγή Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39), μπορεί να ενταχθεί στην 2<sup>η</sup> κατηγορία, αφού εμφανίζει μια περιεκτικότητα μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ) 9,6%, πράγμα που σημαίνει ότι το νερό κυκλοφορεί σε μαγνησιούχο ασβεστόλιθο. Βάσει του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (1999) οι Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι (Ji-m.k) εμφανίζουν, κατά τόπους, έντονη δολομιτώση.

γ) η παράκτια πηγή Ρήνα (Π1-Δ40), μπορεί να τοποθετηθεί στην 3<sup>η</sup> κατηγορία, αφού εμφανίζει μια περιεκτικότητα μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ) 14,2%, πράγμα που σημαίνει ότι το νερό κυκλοφορεί σε δολομιτικό ασβεστόλιθο. Όμως, αυτή η κατηγορία δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για την πηγή, γιατί είναι σίγουρα επηρεασμένη από την διείσδυση του θαλασσινού νερού στον καρστικό υδροφόρο.

Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η συγκέντρωση του  $Mg^{2+}$  κυμαίνεται από 7 mg/l έως 156,5 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 45,5 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Με βάση τις παραπάνω τιμές, θεωρούμε ότι τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα εμφανίζουν φυσιολογικές τιμές συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$ , αφού εμφανίζουν μια μέση τιμή 45,5 mg/l, η οποία πλησιάζει το όριο, που θέτουν οι Stanley Davis και Roger DeWiest (1966), δηλαδή 0-40 mg/l. Ορισμένα δείγματα ξεπερνούν τα 100 mg/l, πράγμα που σημαίνει, ότι τα υπόγεια νερά κυρίως των βαθιών γεωτρήσεων έχουν επηρεαστεί απ' την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Αυτά είναι τα Δ3 και Δ38, τα οποία έρχονται επίσης σε επαφή με τις γειτονικές αλλουβιακές αποθέσεις (Εικ. 7.11, Σχ. 7.10).

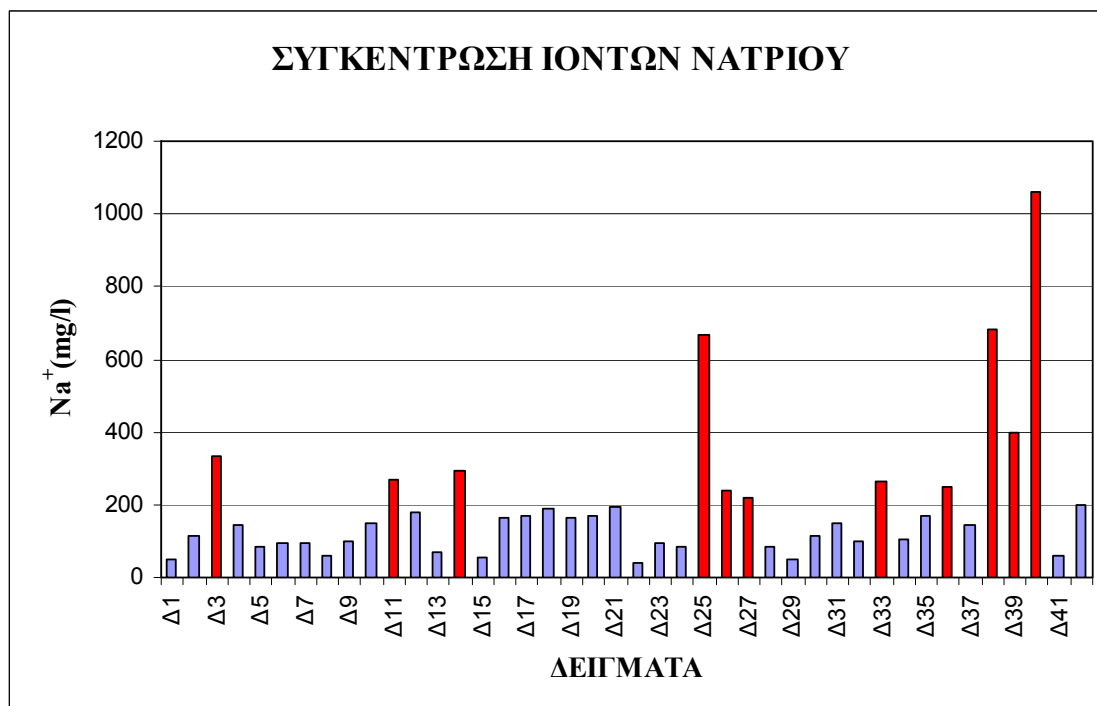
### 7.5.3 Νάτριο ( $Na^+$ ).

Το νάτριο σε αντίθεση με το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το οξείδιο του πυριτίου, δεν είναι τόσο συνηθισμένο στοιχείο (συστατικό) στα κύρια ορυκτά. Γενικά, ως αρχική πηγή προσφοράς νατρίου ( $Na^+$ ), στα φυσικά νερά, είναι τα προϊόντα διάλυσης, τα οποία προέρχονται απ' την διάβρωση των αστρίων και συγκεκριμένα των πλαγιόκλαστων, αλλά και από τη διάλυση του ορυκτού αλίτη ( $NaCl$ ).

Μικρότερης σημασίας ορυκτολογική πηγή είναι τα ορυκτά, που εμφανίζονται στα μεταμορφωμένα και στα μαγματικά πετρώματα, όπως: ο νεφελίνης ( $Na_3KAl_4SiO_{16}$ ), ο σοδάλιθος ( $Na_8[Al_6SiO_{24}]Cl_2$ ), ο στιλβίτης ( $NaCa_4[Si_{27}Al_9]O_{72} \cdot 28(H_2O)$ ), ο νατρολίτης ( $Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$ ), ο ιαδείτης ( $NaAlSi_2O_6$ ), ο γλαυκοφανής ( $Na_2Mg_3 Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$ ) και ο αιγίριτης ( $NaFe^{+3}Si_2O_6$ ), όπου σε σχέση με τους άστριους έχουν μικρή προσφορά  $Na^+$  (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966).

Με βάση τα παραπάνω, η παρουσία του νατρίου ( $Na^+$ ) στα υπόγεια νερά της περιοχής σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ορυκτολογική σύσταση των σχηματισμών, αλλά και με την θαλάσσια επίδραση. Σύμφωνα με τους Καταγά και Σαπουντζή (1977), τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (C-P.ph,qt) είναι πλούσια σε μαγνησιοριβεκίτη ( $Na_2Mg^{+2}_3 Fe^{+3}_2Si_8O_{22}(OH)_2$ ). Στο

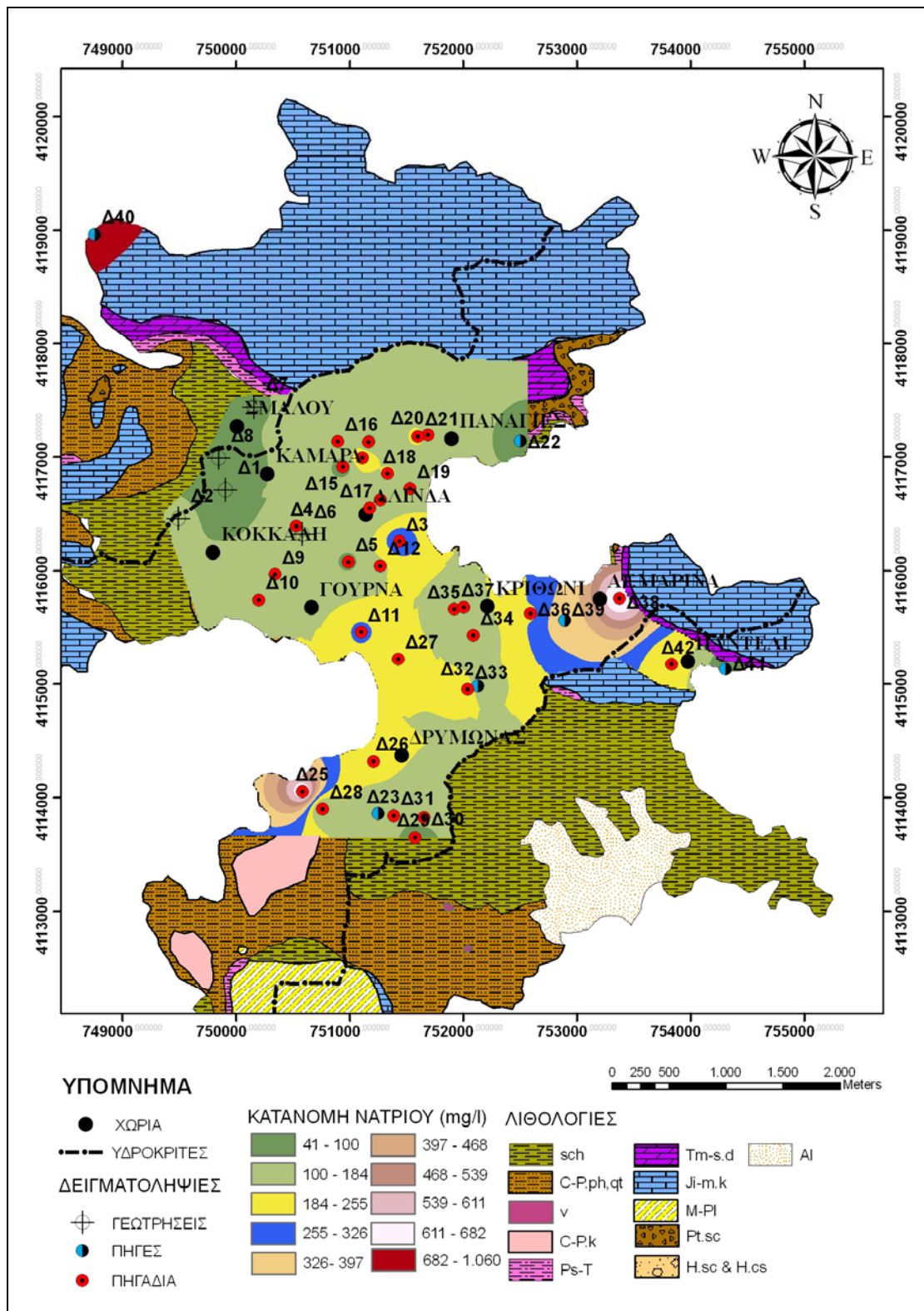
παρακάτω σχήμα (Σχ. 7.11) παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων  $\text{Na}^+$  στα περισσότερα δείγματα των υπόγειων νερών της περιοχής έχουν τιμές κάτω από την ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωση. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, το ανώτατο όριο είναι τα 200 mg/l (98/83/EK).



**Σχήμα 7.11:** Η διακύμανση της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 200 mg/l (98/83/EK).

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η διακύμανση του  $\text{Na}^+$  κυμαίνεται από 165,2 mg/l έως 666 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 311,6 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 8). Οι αυξημένες τιμές του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σχετίζονται κυρίως με την διείσδυση της θάλασσας, αλλά και απ' την διάλυση και μεταφορά αποσαθρωμένων υλικών απ' τους σχιστόλιθους (C-P, ρh.qt), οι οποίοι είναι πλούσιοι σε Na-αμφιβόλους. Το δείγμα Δ19 που βρίσκεται στην περιοχή Άλιντα έχει την μικρότερη συγκέντρωση σε ιόντα νατρίου. Στην εν λόγω περιοχή η εμφάνιση των σχιστόλιθων (C-P, ρh.qt) είναι περιορισμένη και δεν υπάρχει μεγάλη προσφορά Na-αμφιβόλων. Ενώ στην περιοχή Γούρνα συμβαίνει το αντίθετο (Δ11, Δ25, Δ26, Δ27 - Εικ. 7.12).

Γενικά, οι Stanley Davis και Roger DeWiest (1966) θεωρούν ότι, όταν οι συγκεντρώσεις νατρίου είναι πάνω από 100 mg/l  $\text{Na}^+$  και TDS πάνω από 1000 mg/l, τότε σίγουρα τα υπόγεια νερά έχουν επηρεαστεί απ' την διείσδυση της θάλασσας.



Εικόνα 7.12: Χάρτης χωρικής κατανομής του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Η συγκέντρωση των ιόντων  $\text{Na}^+$  στους καρστικούς υδροφόρους κυμαίνεται από 41,4 mg/l έως 1.060 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 390,2 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στις πηγές Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39) και Ρήνα (Π1-Δ40) (Σχ. 7.11). Η αυξημένη συγκέντρωση στην παράκτια πηγή Ρήνα, οφείλεται κυρίως στην υφαλμύρωση της απ' την διείσδυση της θάλασσας, ενώ η υψηλή συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στην πηγή Αγ. Αντώνιος, ίσως να οφείλεται στην ιοντοανταλλαγή ασβεστίου - νατρίου, δηλαδή στη μετατροπή του τύπου νερού  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , σε τύπο νερού  $\text{Na}(\text{HCO}_3)$ .

Στα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  κυμαίνεται από 49,9 mg/l έως 682 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 157,4 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Με βάση τις παραπάνω τιμές, μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα υπόγεια νερά σε δύο κατηγορίες: α) σε αυτά, που έχουν συγκέντρωση νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) πάνω από 100 mg/l και β) σ' αυτά, που είναι κάτω από 100 mg/l.

Η μεγάλη συγκέντρωση νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), όπως στο Δ4 και Δ38, οφείλεται κυρίως στην διείσδυση του θαλασσινού νερού, αφού το βάθος των δειγματοληψιών (πηγάδια) φτάνει στο υψόμετρο της θάλασσας. Τα υπόγεια νερά με τις χαμηλές συγκεντρώσεις, εμφανίζουν τιμές πάνω από τον μέσο όρο 1-20 mg/l (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966). Αυτό πιθανόν να συμβαίνει στην μεγάλη κυκλοφορία του νερού στον μανδύα αποσάθρωσης, πριν κατεισδύσει, με αποτέλεσμα να εμπλουτίζεται σε ιόντα νατρίου.

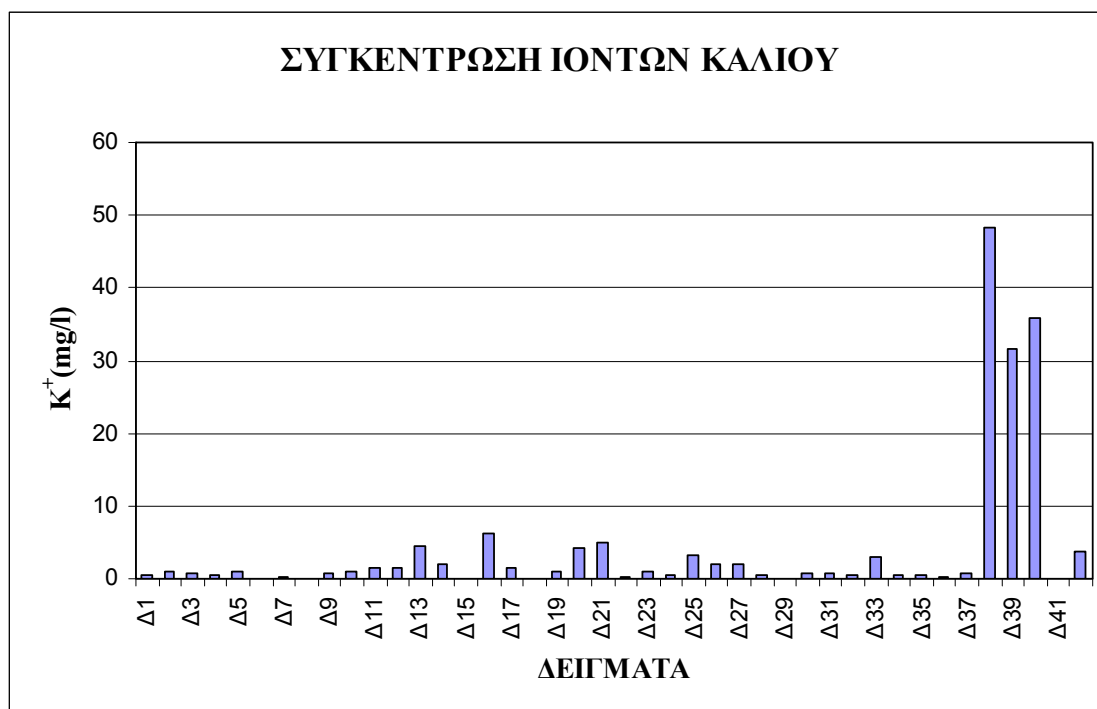
Στον χάρτη κατανομής του νατρίου (Εικ. 7.12), οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις παράκτιες περιοχές, όπως τα σημεία Δ3, Δ11, Δ25, Δ27, Δ38, Δ40, ενώ στα υψηλά τοπογραφικά σημεία της ενδοχώριας περιοχής οι συγκεντρώσεις μειώνονται αισθητά.

#### 7.5.4 Κάλιο ( $\text{K}^+$ ).

Στον φλοιό της γης, αν και το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) βρίσκεται σε πλήρη ισορροπία με το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ), μόνο το ένα δέκατο της συγκέντρωσης του  $\text{K}^+$  εμφανίζεται στα υπόγεια νερά. Αυτό συμβαίνει, επειδή το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) είναι το κύριο συστατικό στη δομή ορισμένων αργίλων και κατά συνέπεια εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση στην διάβρωση, σε σχέση με τα νατριούχα ορυκτά (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966). Η κύρια πηγή τροφοδοσίας του  $\text{K}^+$  είναι τα ορυκτά, ορθόκλαστο ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), μικροκλινής ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), βιοτίτης ( $\text{K}(\text{Fe,Mg})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ), μοσχοβίτης ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_2)(\text{OH})_2$ ), λευκίτης ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) και νεφελίνης ( $\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{SiO}_{16}$ ), τα οποία βρίσκονται στα μεταμορφωμένα και μαγματικά πετρώματα. Επίσης, μεγάλη προσφορά του καλίου γίνεται απ' την διάλυση του σελβίνης ( $\text{KCl}$ ) στις εβαποριτικές αποθέσεις ή από την διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους (Βουδούρης, 2009).

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, οι πηγές τροφοδοσίας των υπόγειων νερών σε  $\text{K}^+$  είναι κυρίως οι μαρμαρυγίες (μοσχοβίτης, βιοτίτης) και ιδιαίτερα η θαλάσσια διείσδυση. Στο σχήμα 7.12

παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων της περιοχής ενδιαφέροντος. Διαπιστώνεται ότι οι συγκεντρώσεις του καλίου, στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων, κυμαίνονται κάτω απ' το όριο των 10 -12 mg/l (Brassington, 1998), που προτείνεται από την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 80/778 Ε.Κ, ενώ ένας μικρός αριθμός δειγμάτων υπερβαίνει το όριο αυτό.



**Σχήμα 7.12:** Η διακύμανση συγκέντρωσης ιόντων καλίου (K<sup>+</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

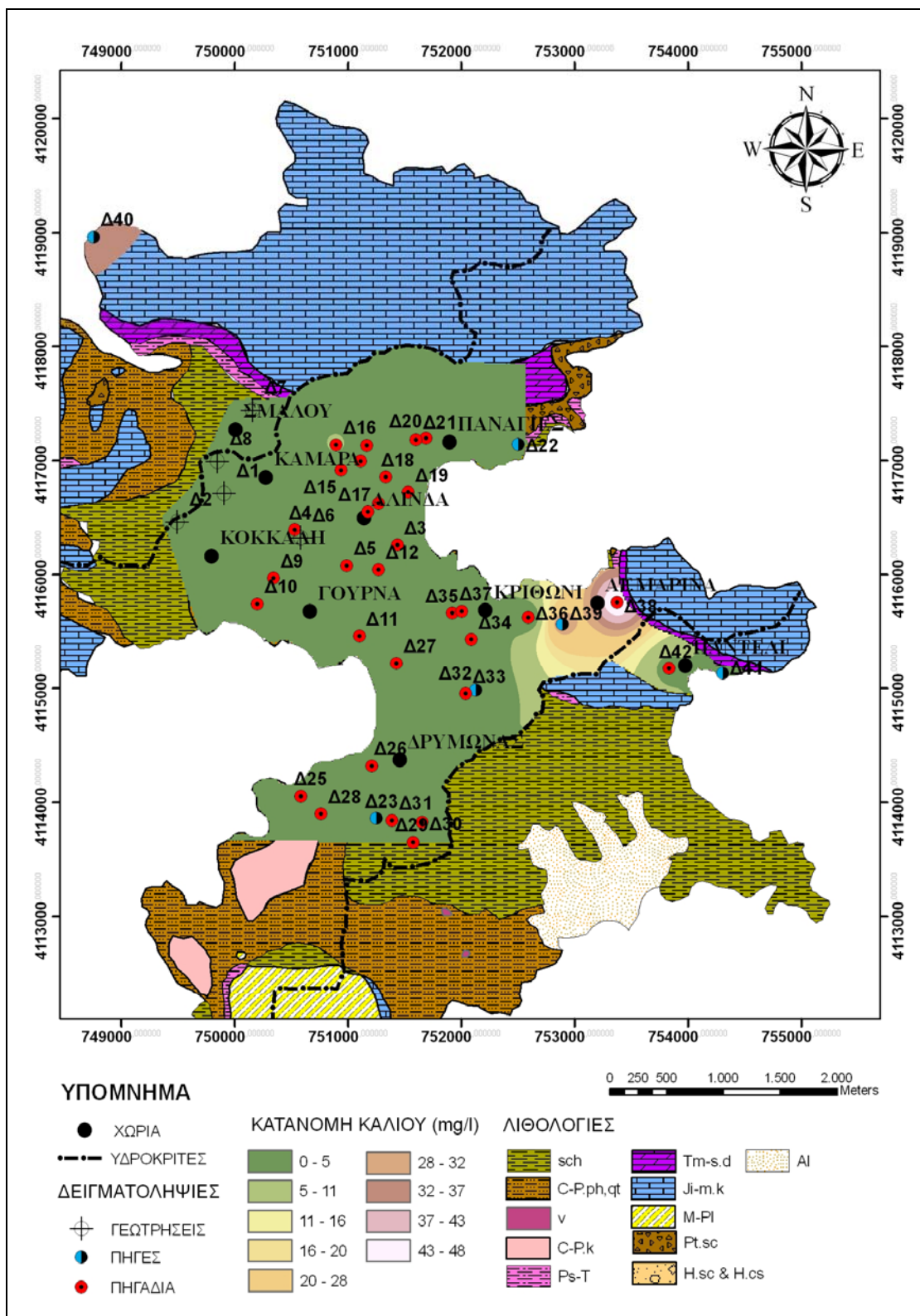
Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η διακύμανση του K<sup>+</sup> κυμαίνεται από 1 mg/l έως 3,2 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 2 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι τιμές αυτές είναι χαμηλές και πιθανόν να προέρχονται απ' την διάλυση αποσαθρωμένων υλικών πλούσια σε κάλιο (K<sup>+</sup>).

Η διακύμανση του K<sup>+</sup> στη καρστική υδροφορία κυμαίνεται από 0 mg/l έως 35,9 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 16,9 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Ιδιαίτερη σημασία έχει η πηγή Ρήνα (Π1-Δ40) και η πηγή Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39), λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων, που εμφανίζουν (Σχ. 7.12). Όσον αφορά την πηγή του Αγ. Αντωνίου (Π3-Δ39), οφείλεται σε κάποια ζώνη μεγάλης προσφοράς K<sup>+</sup>, λόγω της επαφής των ασβεστόλιθων (Ji-m.k) με τους σχιστόλιθους (sch), ενώ η καρστική παράκτια πηγή Ρήνα (Π1-Δ40) είναι επηρεασμένη από την θάλασσα.

Στα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, η διακύμανση του καλίου (K<sup>+</sup>) κυμαίνεται από 0,1 mg/l έως 48,2 mg/l, με μέση τιμή 2,8 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι τιμές των δειγμάτων βρίσκονται κάτω από 20 mg/l, που συνήθως εμφανίζουν τα υπόγεια νερά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966),



εκτός απ' το δείγμα Δ38, το οποίο εμφανίζει μια συγκέντρωση 48,2 mg/l, προφανώς επηρεασμένο από την θάλασσα, καθώς το βάθος του πηγαδιού είναι στο επίπεδο της θάλασσας.



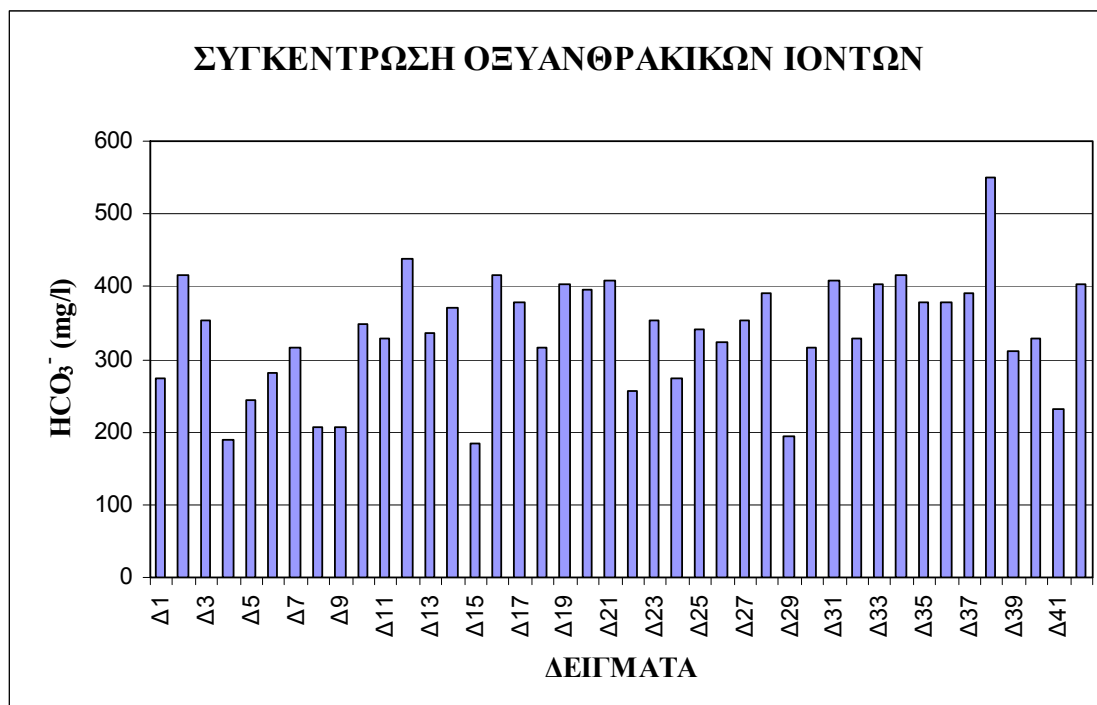
**Εικόνα 7.13:** Χάρτης χωρικής κατανομής του καλίου ( $K^+$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Γενικά, στον χάρτη κατανομής του καλίου ( $K^+$ ) (Εικ 7.13) κυριαρχεί μια ισορροπία, σχεδόν σ' όλη την έκταση του κεντρικού τμήματος του νησιού, όσον αφορά την διακύμανση των συγκεντρώσεων στα υπόγεια νερά, εκτός απ' την περιοχή Αγ. Μαρίνα (Δ38) και από την παράκτια καρστική πηγή Ρήνα (Δ40).

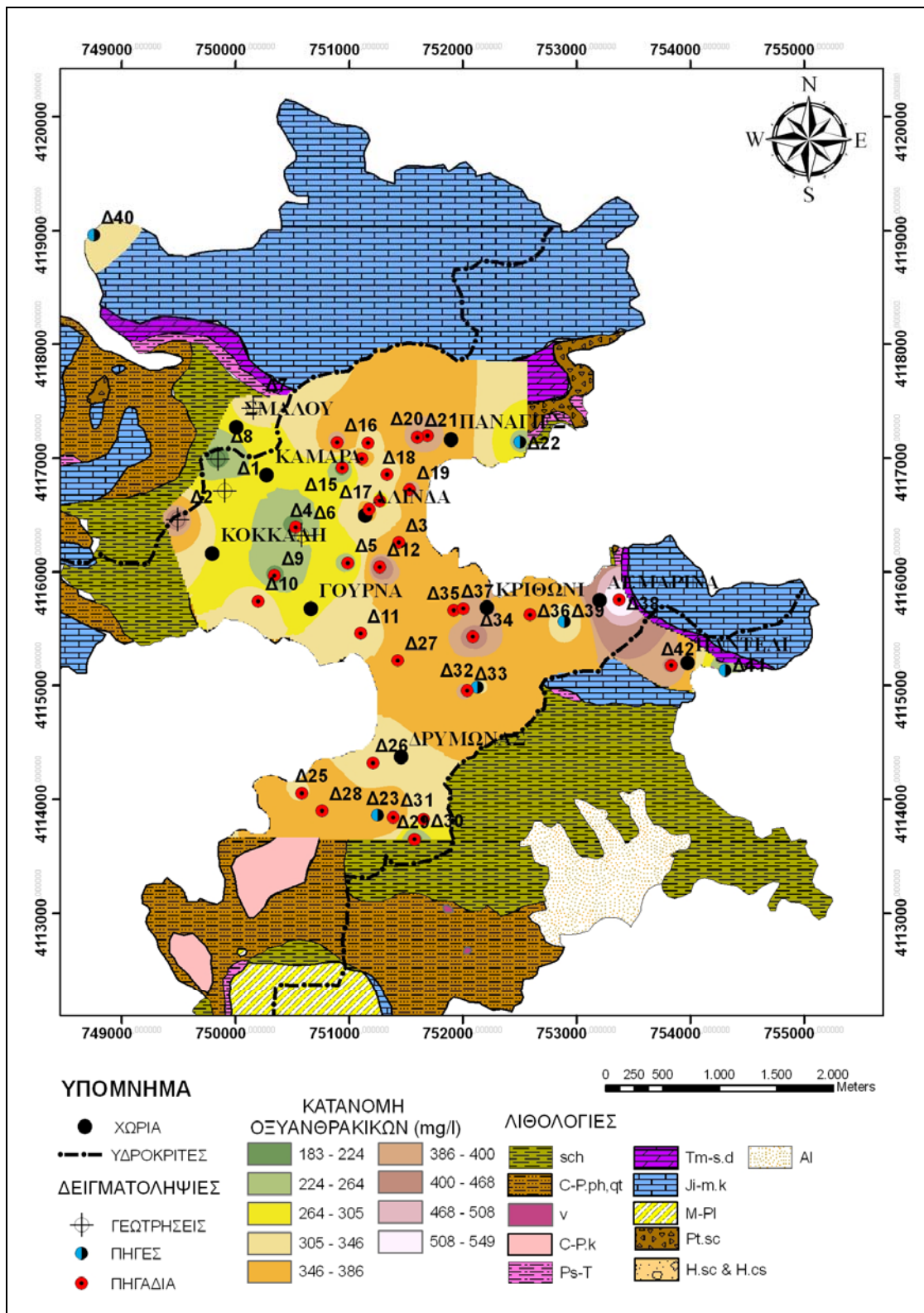
### 7.5.5 Όξινα ανθρακικά ιόντα ( $HCO_3^-$ ).

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $HCO_3^-$ ) είναι τα επικρατέστερα μεταξύ των ανιόντων στα γλυκά νερά. Η παρουσία τους συνδέεται με την ύπαρξη του  $CO_2$ , το οποίο προέρχεται, είτε από την ατμόσφαιρα, είτε από το έδαφος που είναι το προϊόν της οργανικής αποσύνθεσης, σύμφωνα με την αντίδραση:  $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2(HCO_3^-)$ . Επίσης, μπορεί να προέρχεται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων απ' το νερό, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:  $CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$  (Βουδούρης, 2009).

Γενικά, τα υπόγεια νερά εμφανίζουν συγκεντρώσεις  $HCO_3^-$ , περισσότερο από 10 mg/l και λιγότερο από 800 mg/l. Όμως, οι πιο συνηθισμένες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 50 mg/l έως 400 mg/l (Stanley Davis & Roger DeWiest, 1966). Στη περιοχή ενδιαφέροντος παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων κυμαίνονται μεταξύ 50 και 400 mg/l, εκτός απ' το δείγμα Δ38, του οποίου η συγκέντρωση ανέρχεται στα 549 mg/l  $HCO_3^-$  (Σχ. 7.13).



**Σχήμα 7.13:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $HCO_3^-$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.



Εικόνα 7.14: Χάρτης της χωρικής κατανομής των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων, η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ) κυμαίνεται από 323,3 mg/l έως 402,6 mg/l και μέση τιμή 350,1 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Επίσης, με βάση την εικόνα 7.14, παρατηρούμε ότι τα δείγματα Δ11, Δ25, Δ26 και Δ27, τα οποία βρίσκονται στις αλλουβιακές αποθέσεις στη περιοχή Γούρνα και Δρυμόνα, εμφανίζουν παρόμοιες τιμές, ενώ το δείγμα Δ19, το οποίο τοποθετείται στις αλλουβιακές αποθέσεις στη περιοχή Άλιντα, εμφανίζει αυξημένη συγκέντρωση σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται πιθανά με την προσφορά διαλυμένου ανθρακικού υλικού. Η περιοχή Άλιντα περιβάλλεται απ'τους ασβεστόλιθους (Ji-m.k), τους δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους (Tm-s.d) και από τους σχιστόλιθους (sch), μέσα στους οποίους εμφανίζονται οι φακοί μαρμάρου. Η περιοχή όμως Γούρνα και Δρυμόνα περιβάλλεται κυρίως απ' τους σχιστόλιθους (C-P.ph.qt), οι οποίοι δεν είναι πλούσιοι σε ανθρακικά ορυκτά, όπως τα ανθρακικά πετρώματα στη περιοχή Άλιντα, και οι ανθρακικοί ορίζοντες και φακοί (C-P.k) έχουν περιορισμένη εμφάνιση.

Η διακύμανση των όξινων ανθρακικών ιόντων, στη καρστική υδροφορία, κυμαίνεται από 231,8 mg/l έως 329,4 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 282,1 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Οι πηγές Παναγίες (Π5-Δ22) και η πηγή Συκίδια (Π8-Δ41) εμφανίζουν παρόμοιες τιμές, ενώ οι πηγές Αγ.Αντώνιος (Π3-Δ39) και Ρήνα (Π1-Δ40) εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις (Εικ. 7.14).

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων, η διακύμανση των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ), κυμαίνεται από 183 mg/l έως 549 mg/l και μέση τιμή 341,4 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Η πηγή προέλευσης των  $\text{HCO}_3^-$  είναι η διάλυση του  $\text{CaCO}_3$ , που προέρχεται από τους φακούς μαρμάρου και ανθρακικών πετρωμάτων. Επίσης, οι συγκεντρώσεις όλων σχεδόν των δειγμάτων, εμφανίζουν τιμές, που αντιστοιχούν στο εύρος 183 mg/l έως 439,2 mg/l, δηλαδή εντός των ορίων, που θέτουν οι Stanley N. Davis και Roger J.M. DeWiest (1966).

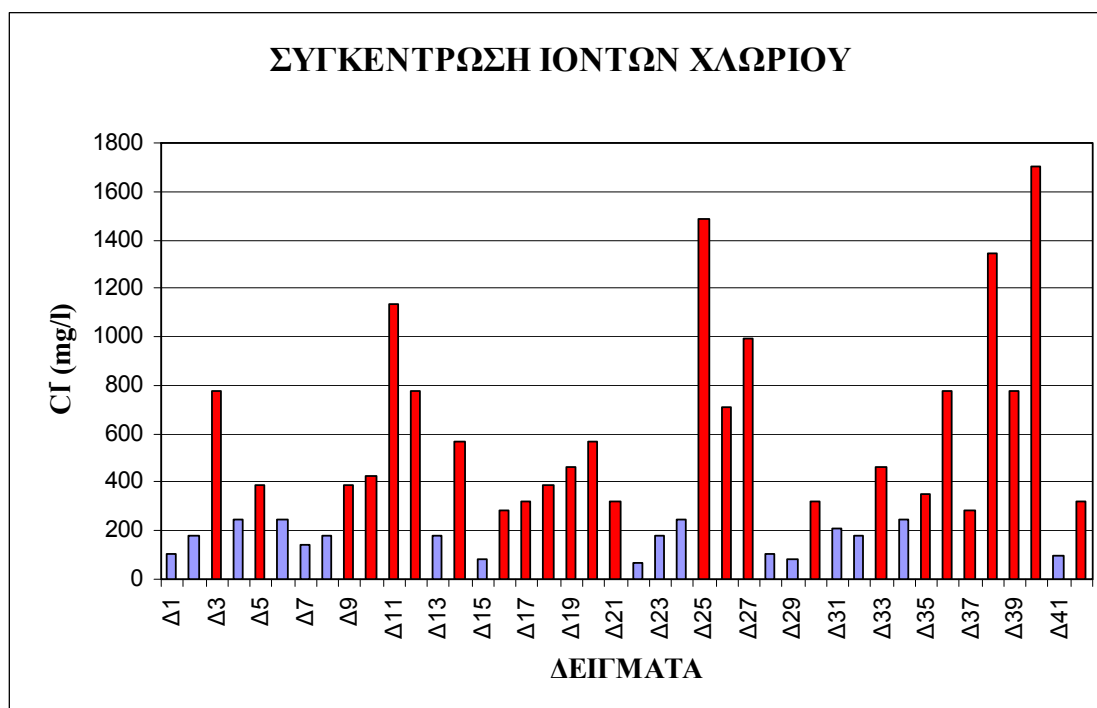
Γενικά στον χάρτη κατανομής των όξινων ανθρακικών ιόντων (Εικ. 7.14), παρατηρούμε ότι οι μικρότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις καρστικές πηγές Δ22, Δ41, αλλά και σ' ένα τμήμα του βόρειου δυτικού τμήματος της περιοχής μελέτης. Επίσης, υπάρχει μια συνολική αύξηση σε όλο το ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

#### **7.5.6 Χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ).**

Το χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ) στα υπόγεια νερά, προέρχεται από πολλές διαφορετικές πηγές: α) μπορεί να προέρχεται από ένα παλιό θαλάσσιο νερό, το οποίο έχει εγκλωβιστεί σε ιζηματογενή πετρώματα ή/και απ' την διείδυση του, σε παράκτια περιβάλλοντα, β) από την διάλυση του αλίτη ( $\text{NaCl}$ ) και άλλων ορυκτών, τα οποία είναι σχετικά με τις αποθέσεις, γ) κατά την διάρκεια μιας εβαποριτικής απόθεσης, που το χλώριο μπορεί να έχει μεταφερθεί από το χιόνι και την βροχή, δ) από ένα ξηρό σύννεφο, το οποίο προέρχεται από μια άνυδρη περιοχή, ε) από μαγματική προέλευση (υδροθερμικές πηγές) στ) από μεταφορά και απόθεση του  $\text{Cl}^-$  μέσω των

βροχοπτώσεων (παράκτιες περιοχές), (Stanley Davis & Roger DeWiest, 1966) και ζ) από αργιλικά ορυκτά, θαλάσσιας προέλευσης (Βουδούρης, 2009).

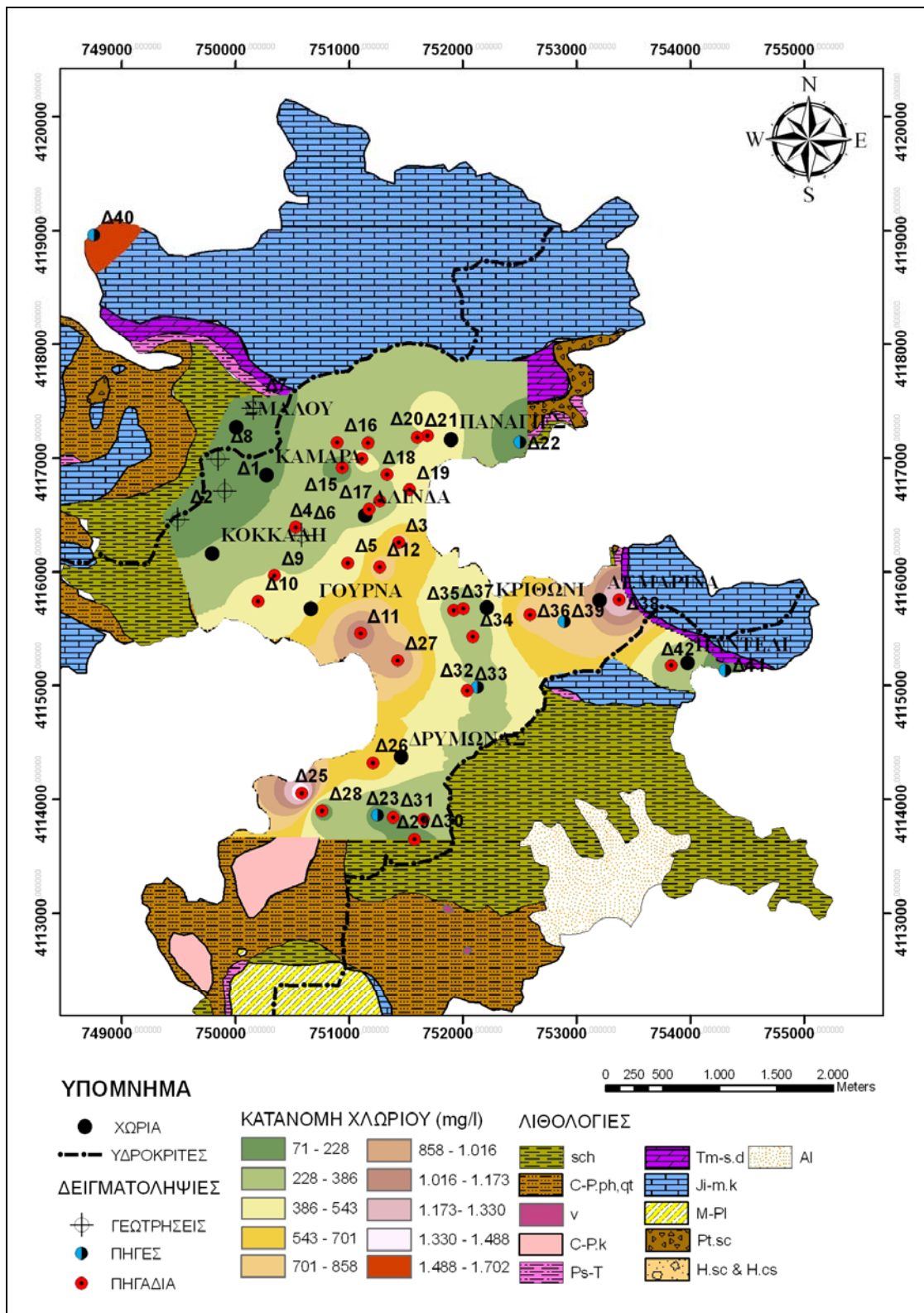
Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην περιοχή ενδιαφέροντος, οι κυρίες πηγές προέλευσης του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) είναι: α) η διείσδυση του θαλασσινού νερού στις παράκτιες περιοχές, β) ο εγκλωβισμός του, στα ιζηματογενή πετρώματα των παράκτιων περιοχών και γ) η μεταφορά απ' τις βροχοπτώσεις. Στο σχήμα 7.14 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής. Αυτές, που είναι πάνω από το όριο των 250 mg/l (98/83/EK), που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό, απεικονίζονται με κόκκινες στήλες.



**Σχήμα 7.14:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 250 mg/l (98/83/EK).

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, τα υπόγεια νερά υπερβαίνουν την ανώτατη παραδεκτή τιμή των 250 mg/l, που προτείνει η ευρωπαϊκή ένωση (98/83/EK). Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η συγκέντρωση των ιόντων του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) κυμαίνεται από 461mg/l έως 1489,4 mg/l και εμφανίζει μία μέση τιμή 957,5 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 8). Αυτές οι τιμές, δείχνουν την υφαλμύρωση των υπόγειων υδάτων, λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού.

Στα καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) κυμαίνεται από 70,9 mg/l έως 1702,1 mg/l και εμφανίζει μία μέση τιμή 663,1 mg/l. Στο σχήμα 7.14 παρατηρούμε ότι οι πηγές Παναγίες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Δ41) εμφανίζουν συγκεντρώσεις κάτω των 100 mg/l,



Εικόνα 7.15: Χάρτης της χωρικής κατανομής των ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

ενώ αυξημένη συγκέντρωση του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) παρουσιάζει η παράκτια πηγή Ρήνα (Π1-Δ40) που σχετίζεται με την διείσδυση του θαλασσινού νερού.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων, η συγκέντρωση του χλωρίου κυμαίνεται από 85,1 mg/l έως 1347,5 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 354,4 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο δείγμα Δ38 (Σχ. 7.14), λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού, αφού το βάθος του πηγαδιού πλησιάζει σχεδόν το επίπεδο της θάλασσας.

Στον χάρτη κατανομής του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) (Εικ. 7.15) παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις αλλουβιακές αποθέσεις των παραλιακών ζωνών, Γούρνα - Δρυμόνα και Αγ. Μαρίνα - Κρίθωνι - Άλιντα. Στην περιοχή Άλιντα εμφανίζονται υψηλές τιμές στα πηγάδια Δ3 και Δ21. Το τελευταίο, αν και βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με εκείνα της παραλιακής ζώνης, χαρακτηρίζεται απ' το μεγάλο βάθος του, το οποίο φτάνει σχεδόν στο επίπεδο της θάλασσας.

#### 7.5.7 Θεικά ιόντα (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>).

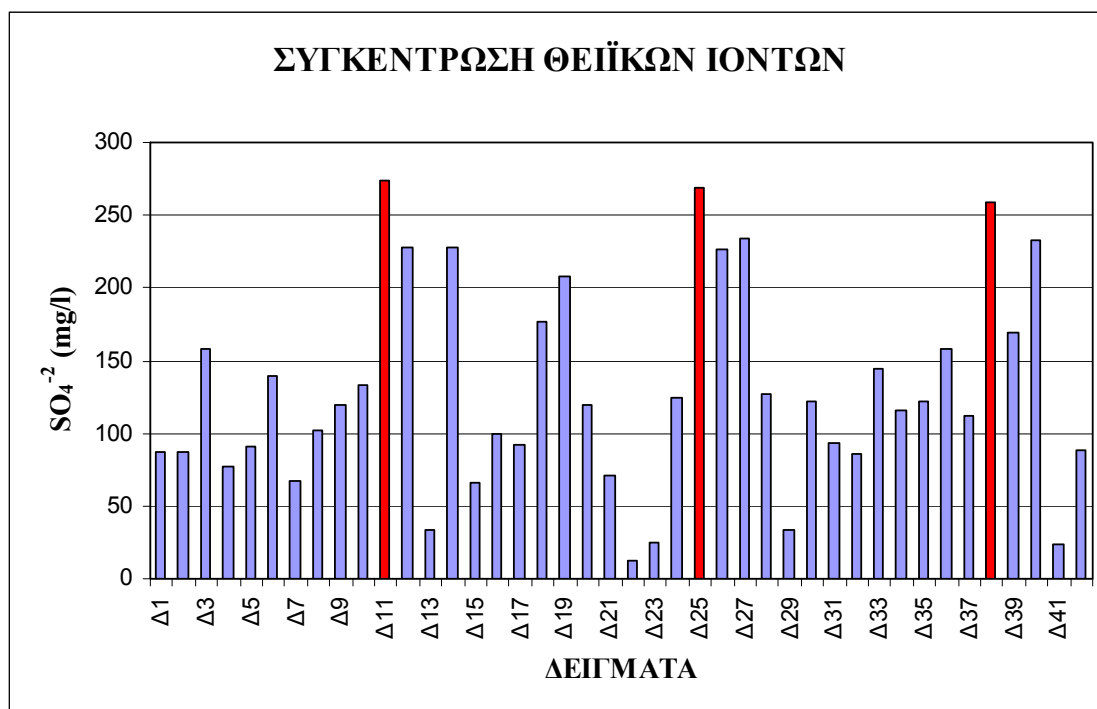
Η κύρια προέλευση των θεικών ανιόντων (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) είναι η διάλυση του ανυδρίτη (CaSO<sub>4</sub>), του γύψου (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), η χρήση λιπασμάτων, τύπου (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, και η οξειδωση θειούχων ενώσεων (σουλφιδίων), σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

- CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (γύψος) ↔ Ca<sup>2+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> + H<sub>2</sub>O.
- CaSO<sub>4</sub> (ανυδρίτης) ↔ Ca<sup>2+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.
- FeS<sub>2</sub> (σιδηροπυρίτης) + 15/4O<sub>2</sub> + 7/2H<sub>2</sub>O → Fe(OH)<sub>3</sub> + 2SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> + 4H<sup>+</sup>.
- (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (θεικό αμμώνιο) + 2H<sub>2</sub>O → 2NH<sub>4</sub>OH + 2H<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

Επίσης, τα θεικά ανιόντα μπορούν να μεταφέρονται μέσω της βροχής και του χιονιού. Ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές, οι υγρές αέριες μάζες πάνω απ' τη θάλασσα, μεταφέρουν σταγονίδια πλούσια σε άλατα.

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, οι συγκεντρώσεις των θεικών ανιόντων (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) οφείλονται κυρίως στη θαλάσσια διείσδυση, στη μεταφορά μέσω της βροχόπτωσης και στην οξειδωση των ενώσεων θεικού σιδήρου (FeSO<sub>4</sub>). Οι συγκεντρώσεις των υπόγειων νερών παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 7.15. Οι τιμές βρίσκονται κάτω από την ανώτερη παραδεκτή τιμή των 250 mg/l, που θέτει η ευρωπαϊκή οδηγία, εκτός από τα δείγματα Δ11, Δ25 και Δ38 (κόκκινες στήλες). Ο θειούχος σίδηρος (FeSO<sub>4</sub>) μπορεί να σχηματιστεί από την ένωση του σιδήρου (Fe<sup>2+</sup>) με τα θεικά ιόντα (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>). Τα τελευταία μπορούν να προέρχονται από τις βροχοπτώσεις ή από την οξειδωση πυριτών (σουλφίδια του σιδήρου), ενώ τα ιόντα σιδήρου (Fe<sup>2+</sup>) από τον μαγνητίτη (Fe<sup>+2</sup>Fe<sup>+3</sup>O<sub>4</sub>). Ο σχηματισμός των πυριτών (σουλφίδια του σιδήρου) γίνεται με την αντίδραση του παραγόμενου H<sub>2</sub>S με τα οξείδια του σιδήρου, όπου το παραγόμενο H<sub>2</sub>S, προέχεται από την αναγωγή των SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> από την οργανική ύλη. Σύμφωνα με τον γεωλογικό

χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε, οι σχιστόλιθοι της περιοχής (C-P.ph, qt) εμφανίζουν μεταλλοφορίες αιματίτη ( $\text{Fe}^{+2}\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_4$ ), αιματίτη ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), λειμονίτη και υδροαιματίτη, οι οποίες διαβρώνονται και το αποσαθρωμένο τους υλικό αποτίθεται στα πεδία απόθεσης ή/και παραμένει στον μανδύα αποσάθρωσης.

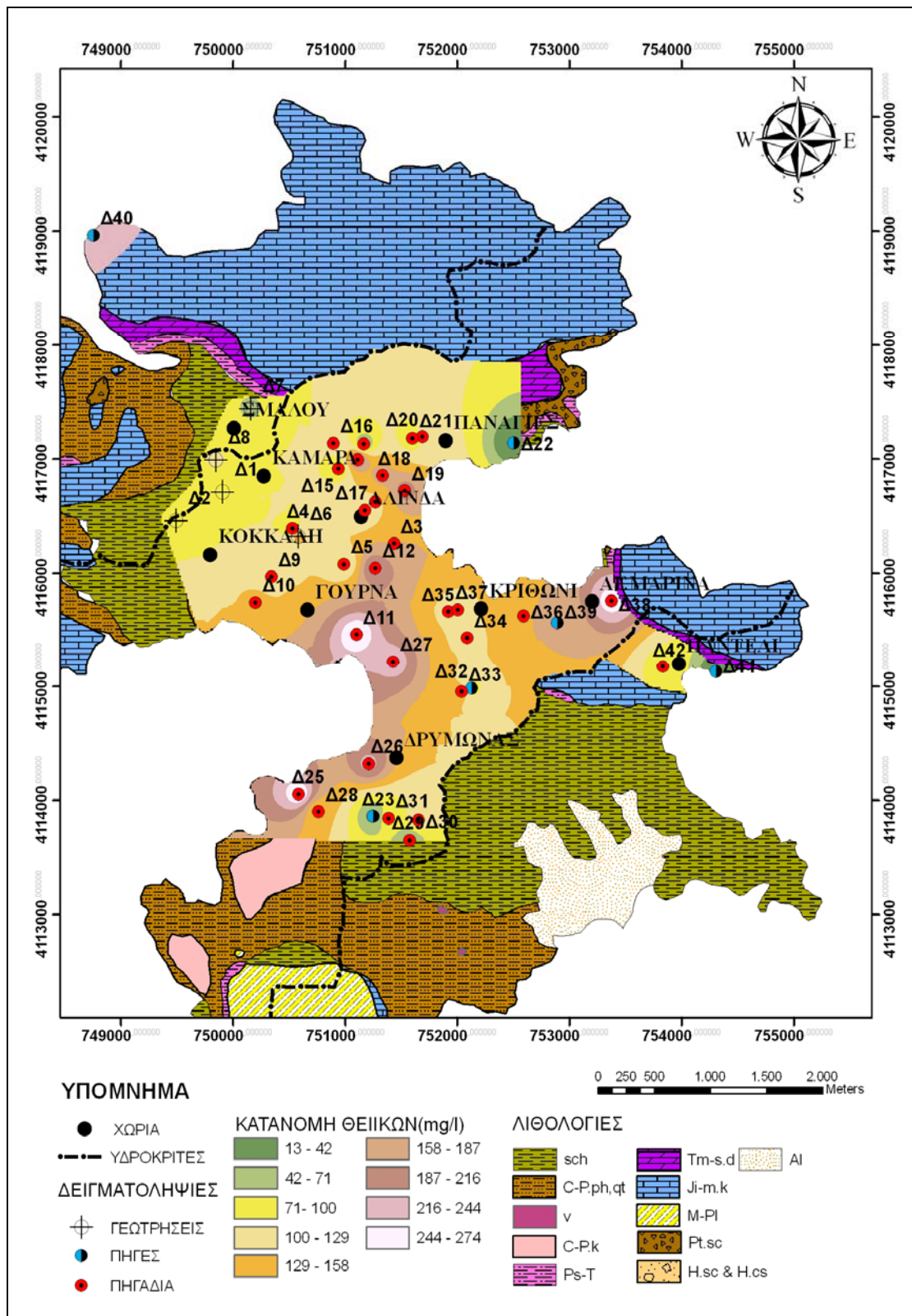


**Σχήμα 7.15:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 250 mg/l (98/83/EK).

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η συγκέντρωση των θειικών ανιόντων, στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 208,5 mg/l έως 273,5 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 242,2 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Αυτές οι τιμές οφείλονται κυρίως στην διεύθυνση του θαλασσινού νερού, το οποίο μεταφέρει θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), ή/και απ' την διάλυση του γύψου και του ανυδρίτη, που πιθανόν υπάρχουν με μορφή κόκκων μέσα στις αλλουβιακές αποθέσεις. Επιπλέον, μια σημαντική πηγή προέλευσης των  $\text{SO}_4^{-2}$  είναι η οξείδωση του θειούχου σιδήρου ( $\text{FeSO}_4$ ) σε θειικό άλας του σιδήρου ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), καθώς αν αναλυθεί η προηγούμενη ένωση προσφέρει  $\text{SO}_4^{-2}$  ανιόντα, δηλαδή:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \leftrightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{-2}$ . Επίσης άλλη μια πηγή προέλευσης των θειικών είναι η οξείδωση των παραγόμενων σουλφιδίων.

Στη καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση των θειικών ιόντων κυμαίνεται από 13 mg/l έως 232,5 mg/l και εμφανίζει μία μέση τιμή 109,6 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 8). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση εμφανίζεται στην παράκτια καρστική πηγή Ρήνα (Σχ. 7.15, Π1-Δ40), λόγω της υφαλμύρωσης του καρστικού νερού από την διεύθυνση της θάλασσας.





**Εικόνα 7.16:** Χάρτης χωρικής κατανομής των θειικών ιόντων ( $SO_4^{2-}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων, η συγκέντρωση των θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) κυμαίνεται από 25,5 mg/l έως 258,5 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 114,7 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο δείγμα Δ38 (Σχ. 7.15), λόγω της υπαλμύρωσης του πηγαδιού, εξαιτίας της διείσδυσης της θάλασσας, αφού το βάθος του φτάνει στο επίπεδο της.

Στον χάρτη κατανομής των θειικών ιόντων (Εικ.7.16), παρατηρούμε ότι η κατανομή μοιάζει με εκείνη των ιόντων χλωρίου, δηλαδή οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στις αλλουβιακές αποθέσεις των παράκτιων ζωνών.

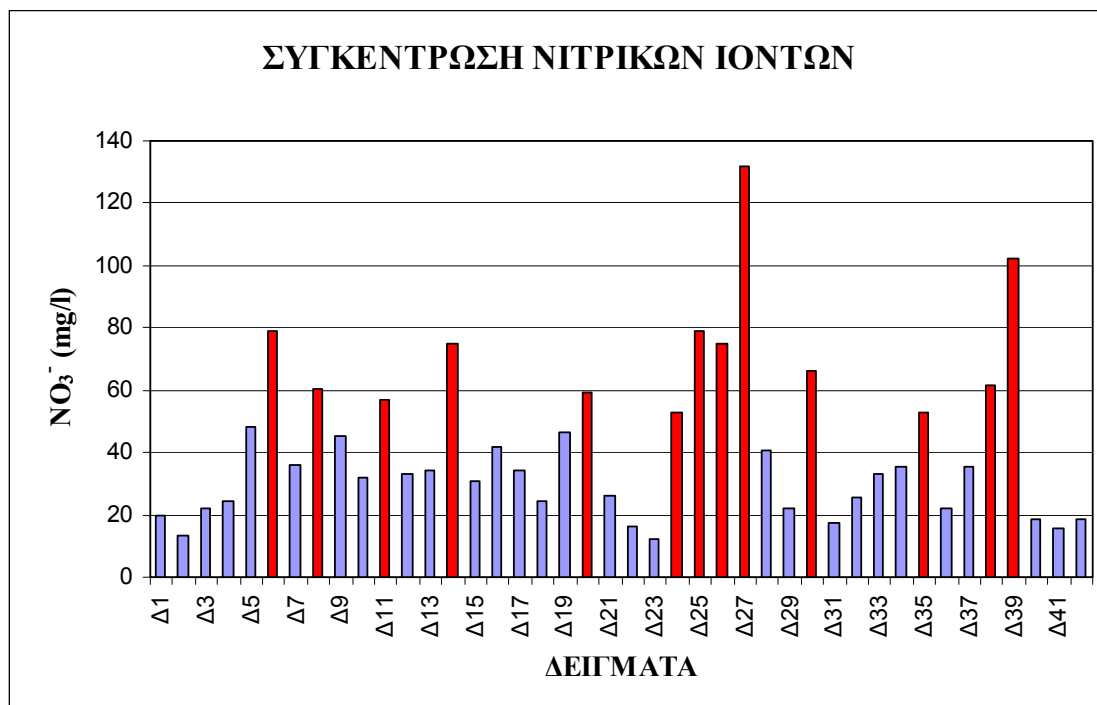
#### 7.5.8 Νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ).

Τα νιτρικά ιόντα που βρίσκονται στα υπόγεια νερά προέρχονται απ' τις οργανικές πηγές και από βιομηχανικά - αγροτικά προϊόντα. Όσον αφορά τις οργανικές πηγές, τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων (ζωικής ή φυσικής προέλευσης), δηλαδή η οργανική ύλη αποσυντίθεται, μέσω της δράσης των βακτηρίων. Συγκεκριμένα, οι πρωτεΐνες, που περιέχουν άζωτο, αλλάζουν μέσω των αμινοξέων σε αμμωνία ( $\text{NH}_4^+$ ), σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και στο τέλος σε νιτρικά άλατα ( $\text{NO}_3^-$ ), τα οποία μπορούν να κινηθούν μέσω του νερού και τελικά να φτάσουν τα υπόγεια ύδατα (Stanley Davis & Roger DeWiest, 1966). Οι υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ), υποδηλώνουν την παρουσία βιολογικών ρύπων (στάβλοι, κοπριά, βοσκή ζώων) ή/και την νιτρορύπανση, γεωργικής προέλευσης (λιπάσματα, κοπριά) ή/και τη ρύπανση με νερά άρδευσης από λιπαινόμενες γαίες, αλλά και τη μεγάλη παρουσία απορροφητικών βόθρων (Βουδούρης, 2009 & Καλλέργης, 2000).

Γενικά, η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων, στο νερό της βροχής, εμφανίζει μια μέση τιμή από 0,1 έως 0,3 mg/l, ενώ στο υπόγειο νερό μπορεί να φτάσει μέχρι και 600 mg/l, κυρίως στις περιοχές με υπερβολική χρήση λιπασμάτων. Η φυσιολογική συγκέντρωση των νιτρικών στα υπόγεια νερά κυμαίνεται από 0,1 mg/l έως 10 mg/l (Stanley Davis & Roger DeWiest, 1966). Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) στο πόσιμο νερό έχει καθοριστεί στα 50 mg/l, ενώ το επιτρεπτό όριο είναι τα 25 mg/l, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες (80/778/EK & 98/83/EK).

Στο σχήμα 7.16 που ακολουθεί, απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος. Με κόκκινες στήλες συμβολίζονται τα υπόγεια νερά, όπου οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, ξεπερνούν το ανώτερο επιτρεπτό όριο για πόσιμο νερό. Διαπιστώνεται ότι σημαντικό ποσοστό των δειγμάτων υπερβαίνει το προαναφερόμενο ανώτατο όριο των 50 mg/l και ένα επίσης σημαντικό ποσοστό ξεπερνά το επιτρεπτό όριο των 25 mg/l.

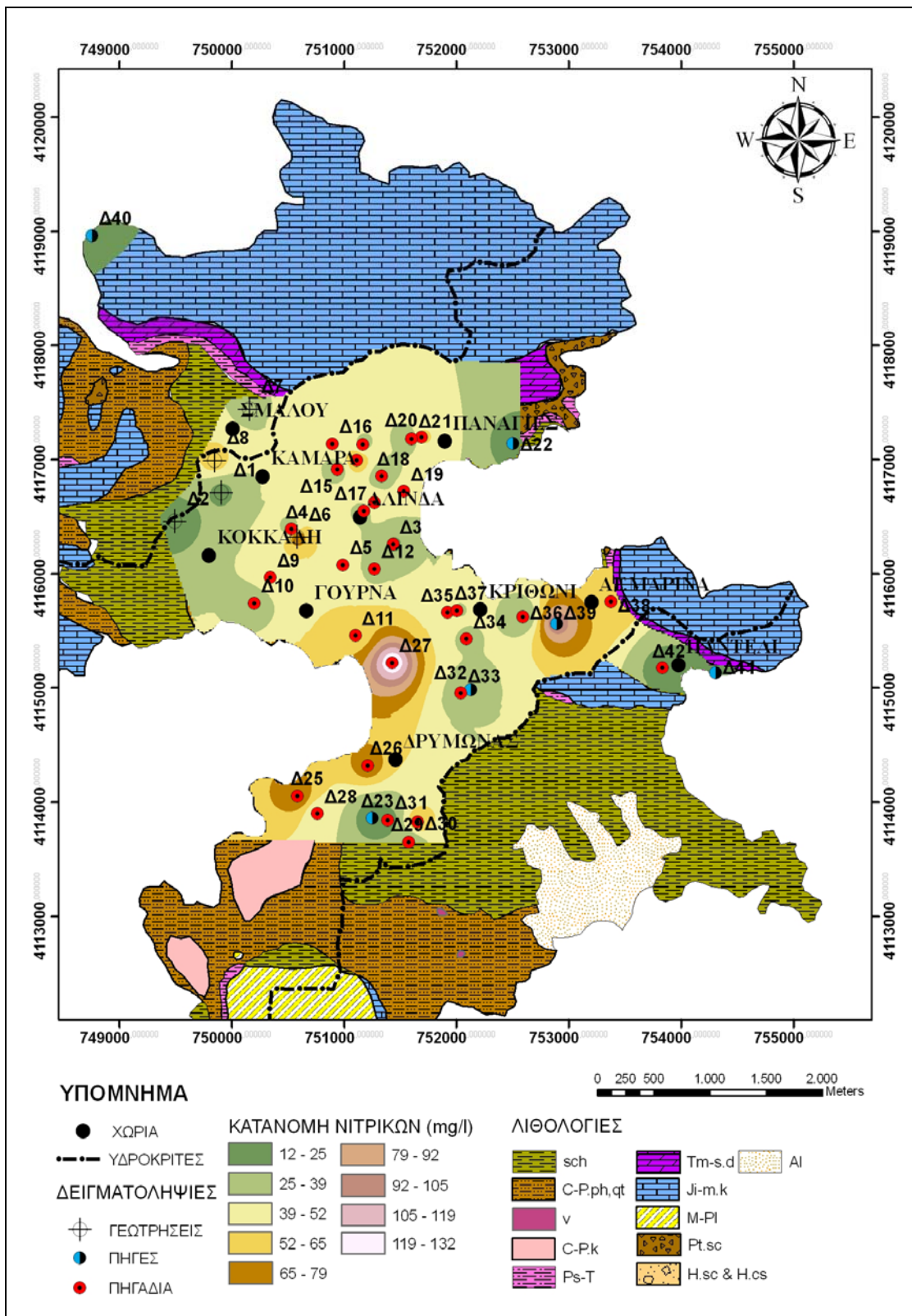
Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμαίνεται από 46,2 mg/l έως 132 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 77,9 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 8). Οι τιμές αυτές αποδίδονται κυρίως στην συχνή χρήση κοπριάς, αφού αυτές οι εκτάσεις καλλιεργούνται.



**Σχήμα 7.16:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 50 mg/l (98/83/ΕΚ).

Στη καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμαίνεται από 15,4 mg/l έως 102,3 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 38,2 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Σύμφωνα με το σχήμα 7.16, οι καρστικές πηγές Παναγίες (Π5-Δ22), Συκίδια (Π8-Δ41) και Ρήνα (Π1-Δ40) εμφανίζουν χαμηλές τιμές, δηλαδή δεν ξεπερνούν σε μεγάλο βαθμό τα 10 mg/l, που αναφέραμε παραπάνω, ενώ η υψηλή τιμή της συγκέντρωσης της πηγής Αγ. Αντώνιου (Π3-Δ39), μπορεί να αποδοθεί στους απορροφητικούς βόθρους ή στις απώλειες του δικτύου αποχέτευσης, αφού τοποθετείται σε πυκνοκατοικημένη περιοχή (Εικ 7.17).

Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων, στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 12,1 mg/l έως 79,2 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 37,4 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Τα δείγματα που οι συγκεντρώσεις τους ξεπερνούν τα 50 mg/l, έχουν προφανώς επηρεαστεί από τους απορροφητικούς βόθρους ή/και την χρήση κοπριάς. Επίσης, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του δείγματος Δ1 (δημοτική γεώτρηση για πόσιμο νερό) είναι σχεδόν η διπλάσια, σε σχέση με το δείγμα Δ2 (δημοτική γεώτρηση για ύδρευση).



**Εικόνα 7.17:** Χάρτης της χωρικής κατανομής των νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

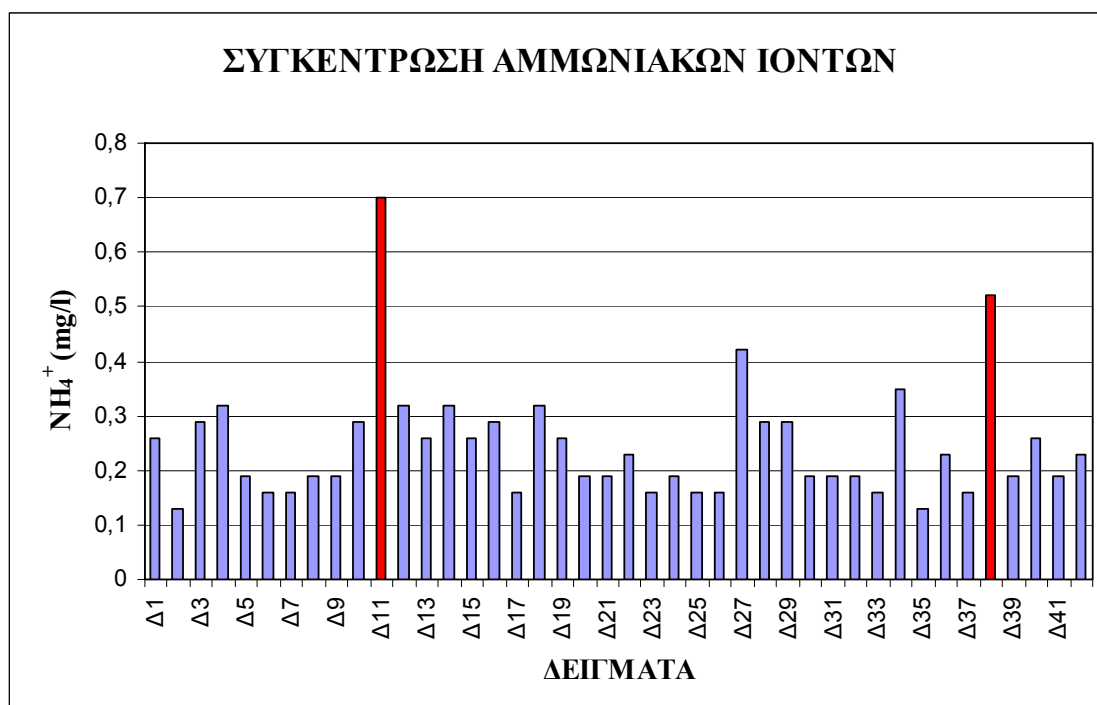
Αυτό πιθανόν αποδίδεται στην μεγάλη απόσταση από την πυκνοκατοικημένη περιοχή Καμάρα, όπου βρίσκεται η εν λόγω γεώτρηση. Η πρώτη βρίσκεται στα περιθώρια της κατοικημένης περιοχής, ενώ η δεύτερη βρίσκεται σε μια απόσταση 500m απ' την πρώτη, όπου δεν υπάρχει οικισμός και δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος από απορροφητικούς βόθρους.

Στον χάρτη κατανομής των νιτρικών ιόντων (Εικ. 7.17), παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις περιοχές Γούρνα, Δρυμόνα και Κόκκαλη, που είναι και το πιο καλλιεργήσιμο τμήμα του νησιού, άρα αναμένεται η χρήση λιπασμάτων π.χ κοπριάς και αζωτούχων λιπασμάτων.

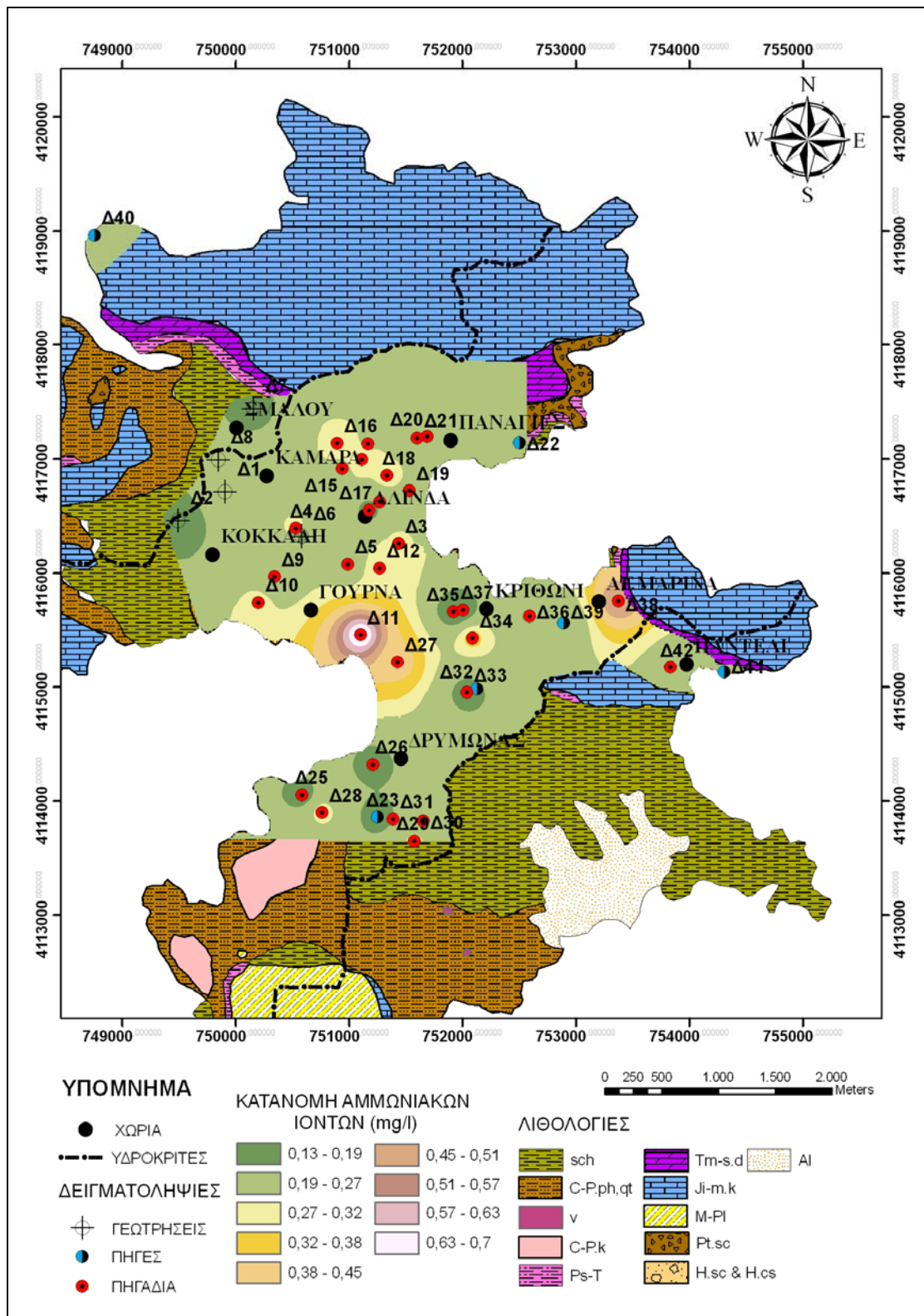
## 7.6. Δευτερεύοντα στοιχεία και διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>).

### 7.6.1 Αμμωνιακά ιόντα (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Η υψηλή συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων αποτελεί ένδειξη ρύπανσης των υδάτων και προέρχονται από την αναγωγή των νιτρικών ιόντων (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης δεν παρατηρούμε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), λόγω του ότι επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες και όχι αναγωγικές, στους υδροφόρους ορίζοντες. Επίσης, τα περισσότερα δείγματα υπόγειου νερού εμφανίζουν συγκεντρώσεις κάτω από την ανώτερη παραδεκτή τιμή, που θέτει η ευρωπαϊκή οδηγία, δηλαδή 0,5 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν τα δυο δείγματα Δ11 και Δ38 που ξεπερνούν το όριο αυτό (Σχ. 7.17).



**Σχήμα 7.17:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 0,5 mg/l (98/83/EK).



Εικόνα 7.18: Χάρτης χωρικής κατανομής των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα νερά των αλλουβιακών αποθέσεων η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ) κυμαίνεται από 0,16 mg/l έως 0,7 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,34 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Μεταξύ των δειγμάτων που προέρχονται από τον εν λόγω υδροφορέα, μόνο το δείγμα Δ11 ξεπερνά την ανώτερη παραδεκτή τιμή, που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό (Σχ.7.17).

Στη καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ) κυμαίνεται από 0,19 mg/l έως 0,26 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,22 mg/l ενώ στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ), στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 0,13 mg/l έως 0,52 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,24 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 8). Απ' αυτά, μόνο το δείγμα Δ38 ξεπερνά την ανώτερη παραδεκτή τιμή, που ορίζει η ευρωπαϊκή οδηγία 98/83/ΕΚ.

Στον χάρτη κατανομής των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ) (Εικ. 7.18), παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις περιοχές Γούρνας και Αγ. Μαρίνας. Στην πρώτη περιοχή, πιθανότατα οι συγκεντρώσεις οφείλονται στην χρήση λιπασμάτων, λόγω ότι είναι μια καλλιεργήσιμη περιοχή ή τοπικά μπορεί να επικρατεί ένα μεταοξειδωτικό περιβάλλον. Στην δεύτερη περιοχή, θεωρούμε ότι οι μεγάλες συγκεντρώσεις, οφείλονται κυρίως στους απορροφητικούς βόθρους.

### 7.6.2 Φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).

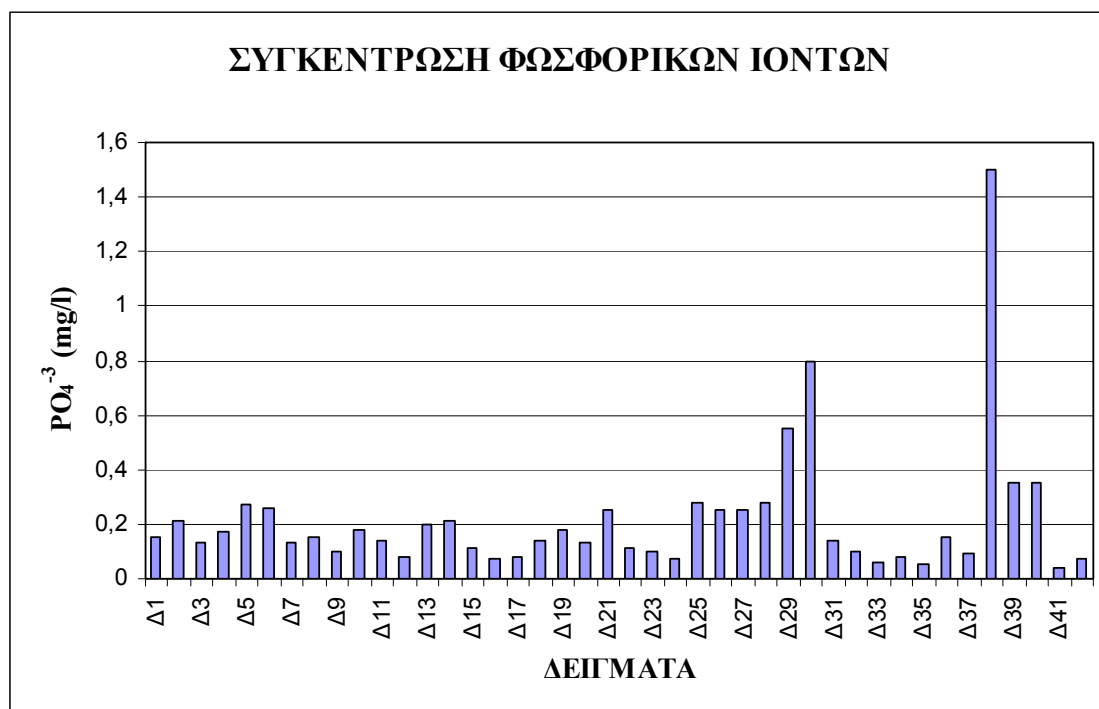
Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων, που απαντώνται στα φυσικά υπόγεια νερά, είναι 0 έως 0,02 mmol/l, προερχόμενες κυρίως από οργανική ύλη ή πετρώματα πλούσια σε φώσφορο ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (98/83/ΕΚ) το ανώτατο όριο συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων για πόσιμο νερό είναι 5 mg/l, μ' ενδεικτική τιμή συγκέντρωσης 0,4 mg/l. Επίσης, η παρουσία των φωσφορικών ιόντων, στα υπόγεια νερά, σχετίζεται με την χρήση φωσφορικών λιπασμάτων καθώς και την ρύπανση από αστικά λιπάσματα (Βουδούρης, 2009).

Σταν υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) κυμαίνεται από 0,14 mg/l έως 0,28 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,22 mg/l (Παρ - Πίνακας 8).

Στη καρστική υδροφορία, οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) κυμαίνονται μεταξύ 0,04 mg/l και 0,35 mg/l και με μέση τιμή 0,21 mg/l. Αυτές οι τιμές δεν υπερβαίνουν ούτε το ενδεικτικό επίπεδο των 0,4 mg/l, ούτε την ανώτερη παραδεκτή τιμή των 5 mg/l.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) κυμαίνονται μεταξύ 0,05 mg/l και 1,5 mg/l. Η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,21 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Στο σχήμα 7.18 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) στα δείγματα της περιοχής. Παρατηρούμε ότι

μεταξύ των δειγμάτων, μόνο τρία δείγματα (Δ29, Δ30, Δ38) υπερβαίνουν το ενδεικτικό επίπεδο των 0,4 mg/l. Η κύρια πηγή προέλευσης είναι τα λύματα απορροφητικών βόθρων ή/και η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων.



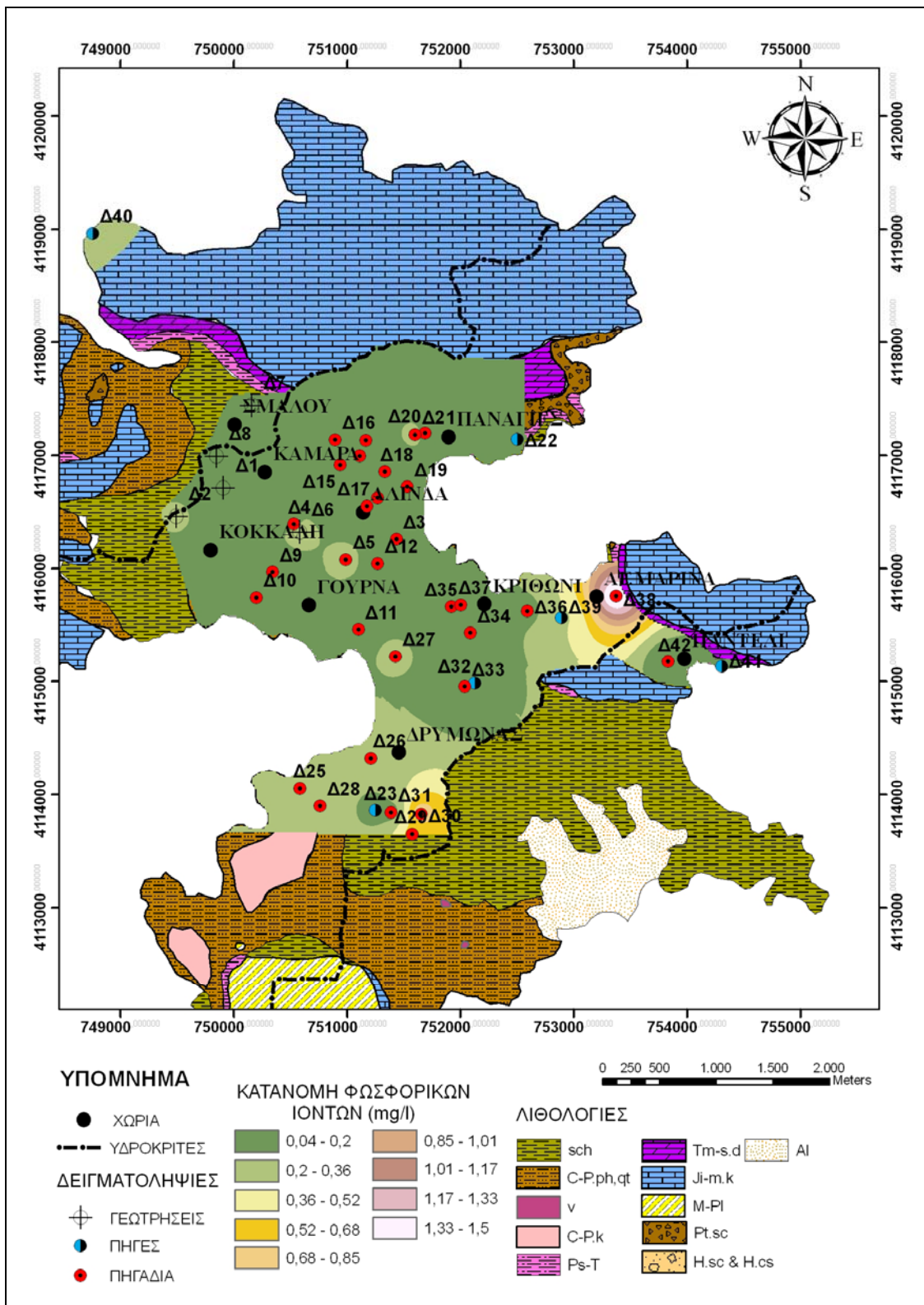
**Σχήμα 7.18:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στον χάρτη κατανομής των φωσφορικών ιόντων (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στην περιοχή Αγ. Μαρίνα και στη περιοχή Δρυμών. Στην πρώτη, οι υψηλές εμφανίσεις οφείλονται προφανώς στους απορροφητικούς βόθρους, ενώ στην δεύτερη περιοχή συνδέονται κυρίως με την χρήση φωσφορούχων λιπασμάτων, χωρίς βέβαια να αποκλύονται και επιδράσεις απόσπυτηκούς βόθρους των γειτονικών περιοχών (Εικ. 7.19).

### 7.6.3 Βρώμιο (Br<sup>-</sup>).

Το βρώμιο (Br<sup>-</sup>) είναι ένα στοιχείο, το οποίο εμφανίζει παρόμοια χημική συμπεριφορά με το χλώριο (Cl<sup>-</sup>), αλλά βρίσκεται σε μικρή αφθονία σε σχέση με το χλώριο. Γενικά, η αναλογία του βρωμίου (Br<sup>-</sup>) προς το χλώριο (Cl<sup>-</sup>) είναι 1 mg/l προς 300 mg/l (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966). Επίσης, στο κεντρικό τμήμα της νήσου, οι συγκεντρώσεις των ιόντων βρωμίου στις αλλουβιακές αποθέσεις, στα ανθρακικά και στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα δεν ξεπερνούν το όριο, που θέτει η ευρωπαϊκή οδηγία για το πόσιμο νερό, δηλαδή τα 10 mg/l.

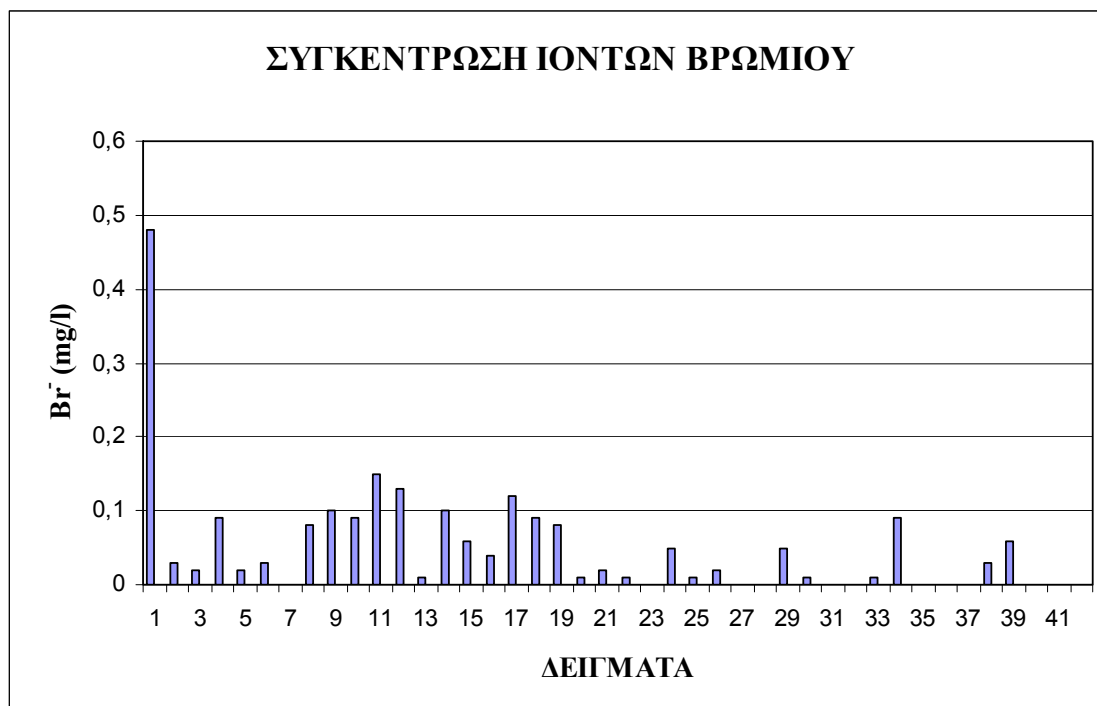




Εικόνα 7.19: Χάρτης χωρικής κατανομής των φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{-3}$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων οι συγκεντρώσεις των ιόντων βρωμίου κυμαίνονται από 0 mg/l έως 0,15 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 0,05 mg/l.

Στη καρστική υδροφορία, οι συγκεντρώσεις των ιόντων βρωμίου ( $\text{Br}^-$ ) κυμαίνονται από 0 mg/l έως 0,06 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 0,02 mg/l (Παρ - Πίνακας 8).



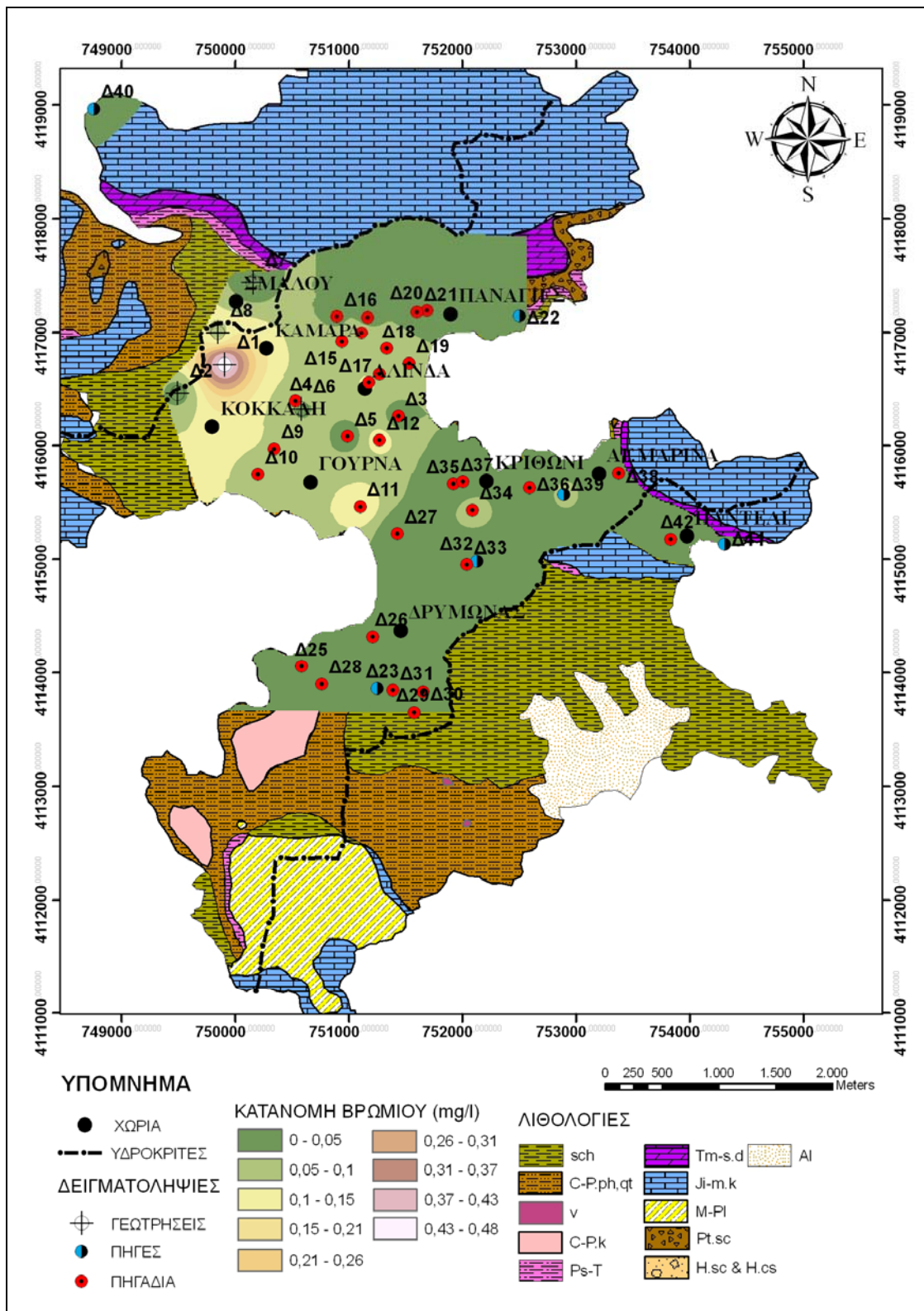
**Σχήμα 7.19:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των ιόντων βρωμίου ( $\text{Br}^-$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστάδη πετρώματα, οι συγκεντρώσεις των ιόντων βρωμίου κυμαίνονται από 0 mg/l έως 0,48 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 0,05 mg/l.

Στον χάρτη κατανομής του βρωμίου (Εικ. 7.20), παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις, εκτός από την γεώτρηση Δ1 και το πηγάδι Δ11.

#### 7.6.4 Ιώδιο (I).

Το ιώδιο, το χλώριο και το βρώμιο ανήκουν στην ομάδα των αλογόνων. Η γεωχημεία του ιωδίου είναι κάπως διαφορετική, ωστόσο είναι απ' τα πιο άφθονα ιόντα, τα οποία συγκεντρώνεται από τα φυτά και τα ζώα, με αποτέλεσμα το νερό της θάλασσας να έχει πολύ χαμηλή συγκέντρωση σε αυτό το στοιχείο. Όμως, μετά την ταφή των ζώων και των φυτών, τα οργανικά υλικά αποσυντίθενται και απελευθερώνεται το ιώδιο, διαμέσου του νερού.

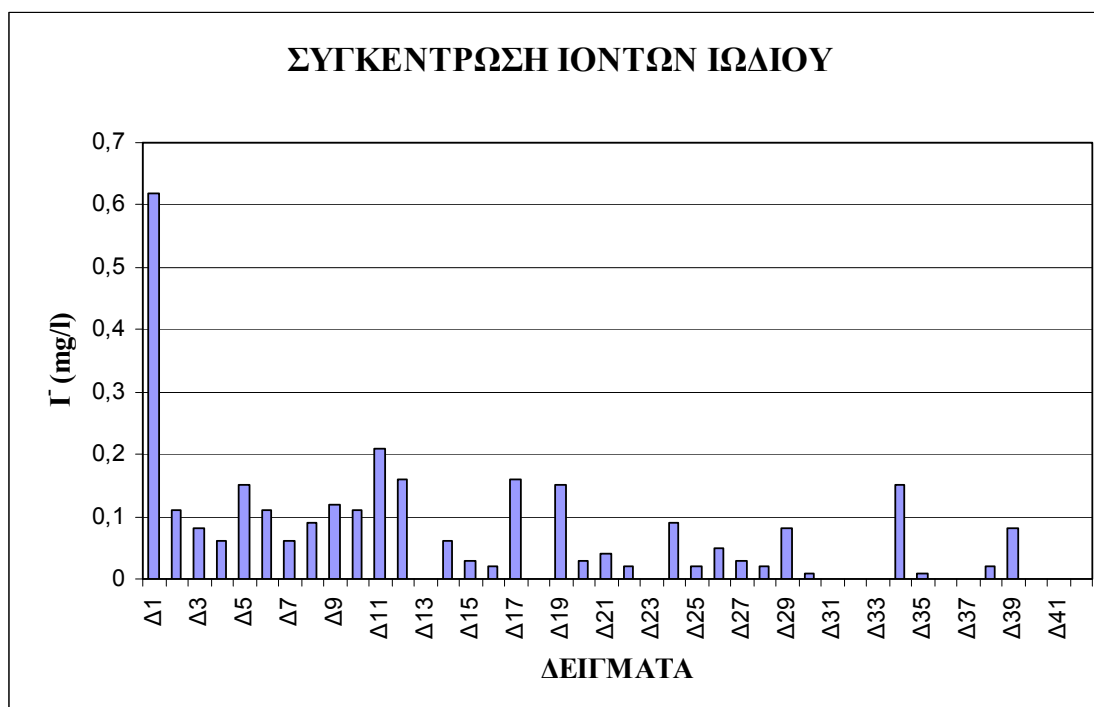


Εικόνα 7.20: Χάρτης χωρικής κατανομής των ιόντων βρωμίου (Br<sup>-</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Γενικά, ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ, του ιωδίου και χλωρίου, στο θαλάσσιο νερό είναι 0,000003, ενώ στα πεδία άντλησης πετρελαίου είναι 0,001. Αυτή η αντίθεση είναι χρήσιμη για να γίνεται η διάκριση μεταξύ παλιάς θάλασσας και πρόσφατης διείσδυσης θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφόρους (Stanley N. Davis & Roger J.M. DeWiest, 1966).

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων οι συγκεντρώσεις των ιόντων ιωδίου κυμαίνονται από 0,02 mg/l έως 0,21 mg/l και εμφανίζουν μια μέση συγκέντρωση 0,09 mg/l.

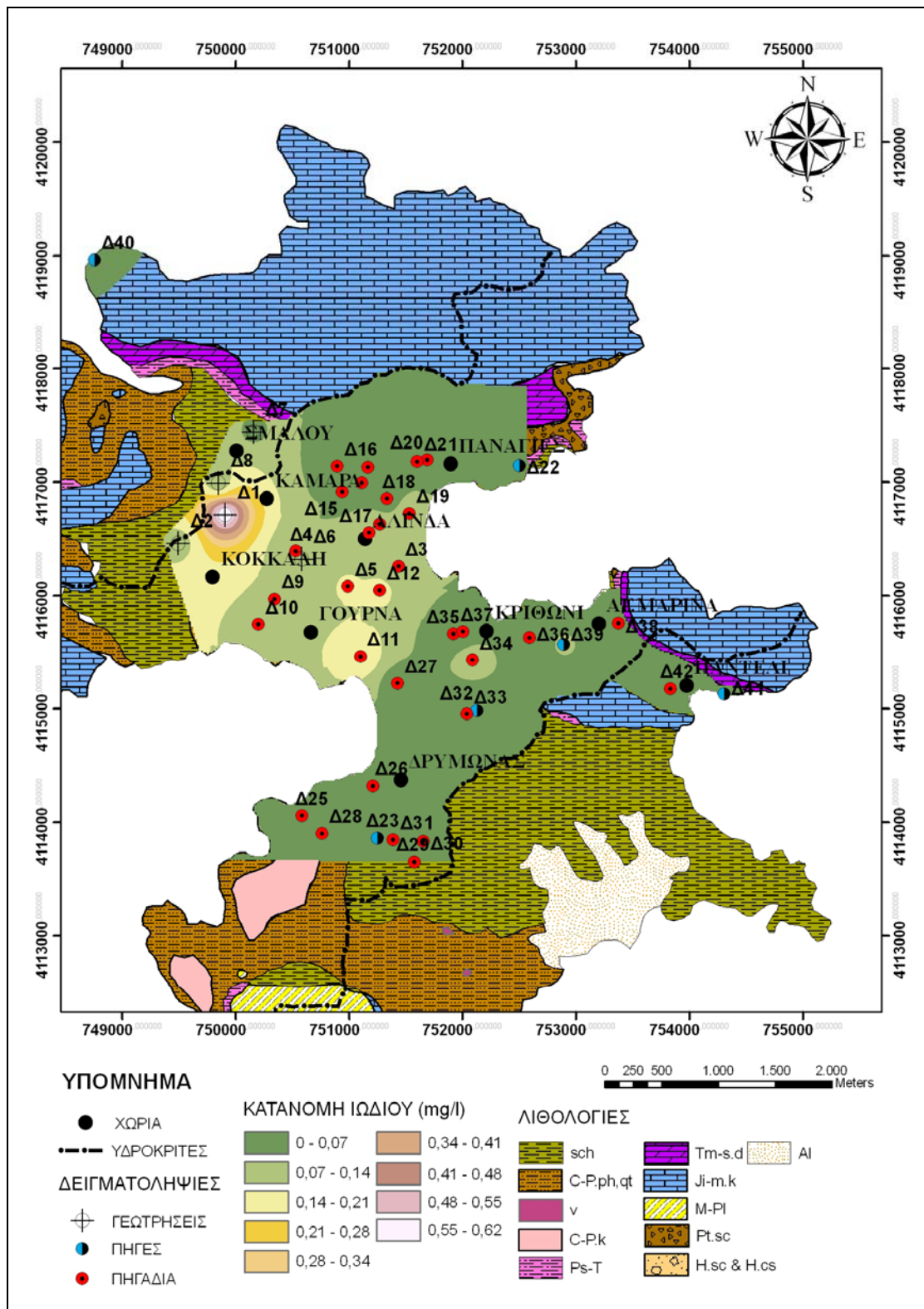
Στη καρστική υδροφορία, οι συγκεντρώσεις των ιόντων του ιωδίου κυμαίνονται από 0 έως 0,08 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 0,03 mg/l (Παρ - Πίνακας 8).



**Σχήμα 7.20:** Η διακύμανση συγκέντρωσης των ιόντων ιωδίου (I<sup>-</sup>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων οι συγκεντρώσεις των ιόντων του ιωδίου κυμαίνονται από 0 έως 0,62 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 0,07 mg/l (Παρ - Πίνακας 8).

Στον χάρτη χωρικής κατανομής του ιωδίου (Εικ. 7.21), η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στο δείγμα Δ1 (Σχ.7.20), το οποίο αντιπροσωπεύει την δημοτική γεώτρηση Σμαλού και χρησιμοποιείται για πόσιμο νερό. Η υψηλή συγκέντρωση, πιθανόν να οφείλεται στην διείσδυση της θάλασσας, λόγω του μεγάλου βάθους της γεώτρησης (Βάθος 105m, υψόμετρο 50m).



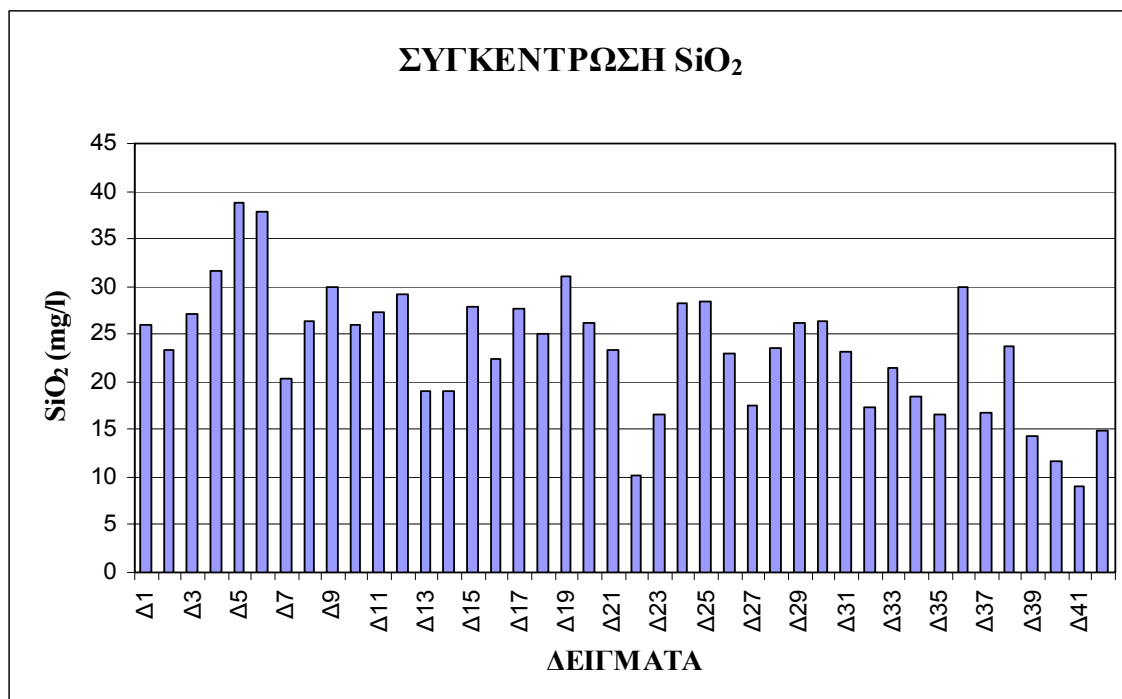
Εικόνα 7.21: Χάρτης χωρικής κατανομής των ιόντων ιωδίου (I), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

### 7.6.5 Διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>)

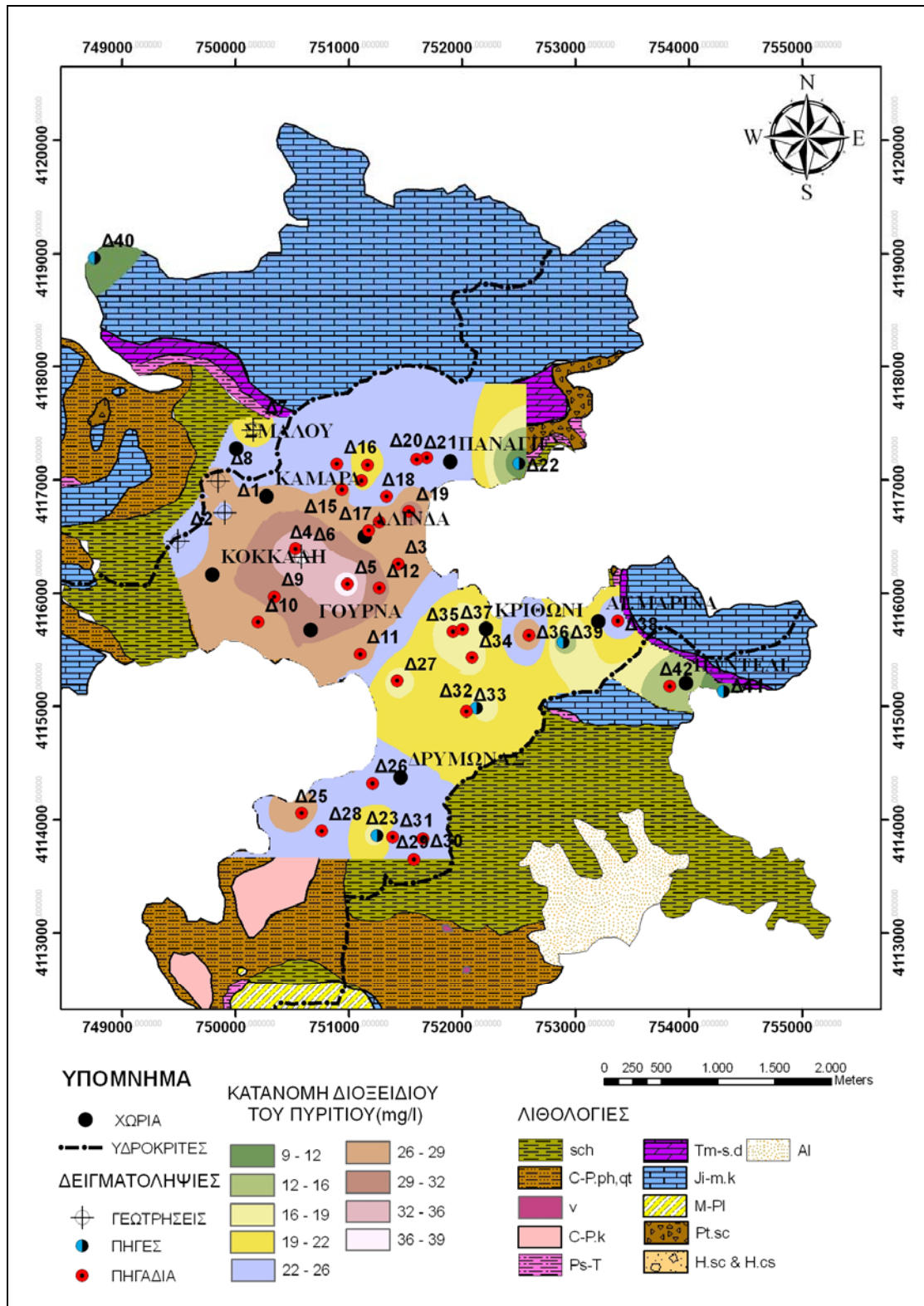
Εκτός απ' το οξυγόνο, το πυρίτιο είναι ένα από τα πιο άφθονα στοιχεία στον φλοιό της γης, το οποίο δεν διαλύεται εύκολα στο φυσικό νερό και λαμβάνει την τέταρτη ή πέμπτη θέση, σε αφθονία, διαλυμένου συστατικού στα υπόγεια νερά. Αυτή η έλλειψη κινητικότητας στην υδρόσφαιρα οφείλεται πιθανώς στον αργό ρυθμό της διάλυσης ορισμένων φυσικών πυριτικών αλάτων και της σχετικά χαμηλής διαλυτότητας των ενώσεων πυριτίου στο νερό.

Η φυσική συσσώρευση του υπολειμματικού χαλαζία και διαφόρων αργιλικών ορυκτών πιστοποιεί τους πολύ αργούς ρυθμούς της διάλυσης μερικών απ' τις άφθονες πηγές του διοξειδίου του πυριτίου. Αντίθετα, η μέτρια ταχύτητα αποσύνθεσης άλλων πυριτικών ορυκτών, θα πρέπει να απελευθερώνει διοξείδιο του πυριτίου, σε διαλυμένη μορφή, που οι συγκεντρώσεις του εντοπίζονται στο φυσικό νερό.

Γενικά, στα φυσικά υπόγεια νερά, το διοξείδιο του πυριτίου απαντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 30 mg/l (Καλλέργης, 2000) και σπανιότερα φτάνει τα 100 mg/l. Επίσης, παρόμοιες συγκεντρώσεις αναφέρουν οι Stanley Davis και Roger DeWiest, (1966), οι οποίοι θεωρούν ότι η φυσιολογική συγκέντρωση του οξειδίου του πυριτίου κυμαίνεται από 5 mg/l έως 40 mg/l. Νερά με συγκεντρώσεις από 90 έως 110 mg/l SiO<sub>2</sub> θεωρούνται ότι είναι κορεσμένα με άμορφο διοξείδιο του πυριτίου και προέρχονται από ηφαιστειακά και γρανιτικά πετρώματα.



**Σχήμα 7.21:** Η διακύμανση συγκέντρωσης του διοξειδίου του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.



Εικόνα 7.22: Χάρτης χωρικής κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στο κεντρικό τμήμα της νήσου Λέρου, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου κυμαίνονται από 9,1 mg/l έως 38,8 mg/l, οι οποίες εντάσσονται στα παραπάνω φυσιολογικά όρια και προέχονται από την χαμηλή διαλυτότητα των αστρίων, των αργιλικών ορυκτών, του χαλαζία και άλλων πυριτικών ορυκτών (Σχ. 7.21).

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) στα υπόγεια νερά, κυμαίνονται από 17,5 mg/l έως 31,1 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 25,44 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Αυτές οι τιμές οφείλονται στη μεταφορά και απόθεση αποσαθρωμένου υλικού πλούσιου σε διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), μέσω του υδρογραφικού δικτύου στις παράκτιες ζώνες, όπου βρίσκονται οι αλλουβιακές αποθέσεις.

Στη καρστική υδροφορία, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου κυμαίνονται από 9,1 mg/l έως 14,3 mg/l και εμφανίζουν μια μέση τιμή 11,3 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι το διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) προέχεται από τις ζώνες πυριτίωσης και από τις χαλαζιακές φλέβες. Οι Stanley Davis και Roger DeWiest (1966) θεωρούν ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) από τον χαλαζία κυμαίνονται από 5 mg/l έως 15 mg/l, λόγω της μικρής διαλυτότητας του χαλαζία.

Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η συγκέντρωση του διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) στα υπόγεια νερά κυμαίνεται από 14,8 mg/l έως 38,8 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 24,55 mg/l (Παρ - Πίνακας 8). Αυτές οι αυξημένες τιμές, σε σχέση με την υδροφορία των ανθρακικών πετρωμάτων, αλλά παρόμοιες με τις αλλουβιακές αποθέσεις, δείχνουν την αργή κίνηση του νερού στον μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων αυτών, ο οποίος είναι πλούσιος σε πυριτικά ορυκτά, αλλά και στο εσωτερικό των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων.

Στον χάρτη κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) (Εικ. 7.22), παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Καμάρα) αλλά και στη παραλιακή ζώνη των Αλίντων, ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται σε όλες τις καρστικές πηγές. Επίσης διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις κατανέμονται στις περιοχές όπου εμφανίζονται οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί. Ιδιαίτερα εμφανίζονται κυρίως στους σχιστόλιθους του βαρίσκιου υποβάθρου (sch) και λιγότερο στα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (C-P.ph,qt).

#### **7.7 Συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων των κύριων στοιχείων.**

Με βάση την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των κύριων ιόντων, συμπεραίνεται ότι, στις αλλουβιακές αποθέσεις (al), το κύριο στοιχείο είναι το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) με μέση συγκέντρωση 386,7 mg/l, το δεύτερο κατά σειρά είναι το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) με μέση συγκέντρωση 311,6 mg/l, ενώ τρίτο κατά σειρά έρχεται το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ), με μέση



συγκέντρωση 75,1 mg/l. Επίσης, λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης, το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο (Cl<sup>-</sup>) με μέση συγκέντρωση 957,5 mg/l, ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και τα θειικά (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), με συγκεντρώσεις 350,1 mg/l και 242,2 mg/l, αντίστοιχα (Σχ. 7.22).

Στη καρστική υδροφορία (Ji-m.k), το κυρίαρχο κατιόν είναι το νάτριο (Na<sup>+</sup>) με μέση συγκέντρωση 390,2 mg/l, ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι το ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>) και το μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>), με μέση συγκέντρωση 117,2 mg/l και 50,1 mg/l, αντίστοιχα. Επίσης, το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο με μέση τιμή 663,1 mg/l, ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και τα θειικά (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), με συγκεντρώσεις 282,1 mg/l και 109,6 mg/l, αντίστοιχα (Σχ. 7.22).

Όμως, οι παραπάνω τιμές δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές, γιατί το κάθε καρστικό υδροσύστημα αντιπροσωπεύεται από πηγές (Δ22, Δ39, Δ40, Δ41), οι οποίες δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά, εκτός απ' τις πηγές Πανάγιες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8-Δ41), οι οποίες έχουν τον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό για επίπεδο βάσης (Ps-T) και δεν επηρεάζονται από την διείσδυση της θάλασσας. Γι' αυτό και παρατηρούμε ότι το κυρίαρχο κατιόν είναι το νάτριο (Na<sup>+</sup>) και το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο (Cl<sup>-</sup>), λόγω της διείσδυσης της θάλασσας στον υδροφόρο της παράκτιας καρστικής πηγής Ρήνα (Π1-Δ40) και της μόλυνσης της πηγής του Αγ. Αντωνίου (Π3-Δ39). Επιπλέον, αν συγκρίνουμε τις καρστικές πηγές Πανάγιες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8-Δ41), την μέγιστη μέση συγκέντρωση την εμφανίζει το ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>) από τα κατιόντα και τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) από τα ανιόντα.

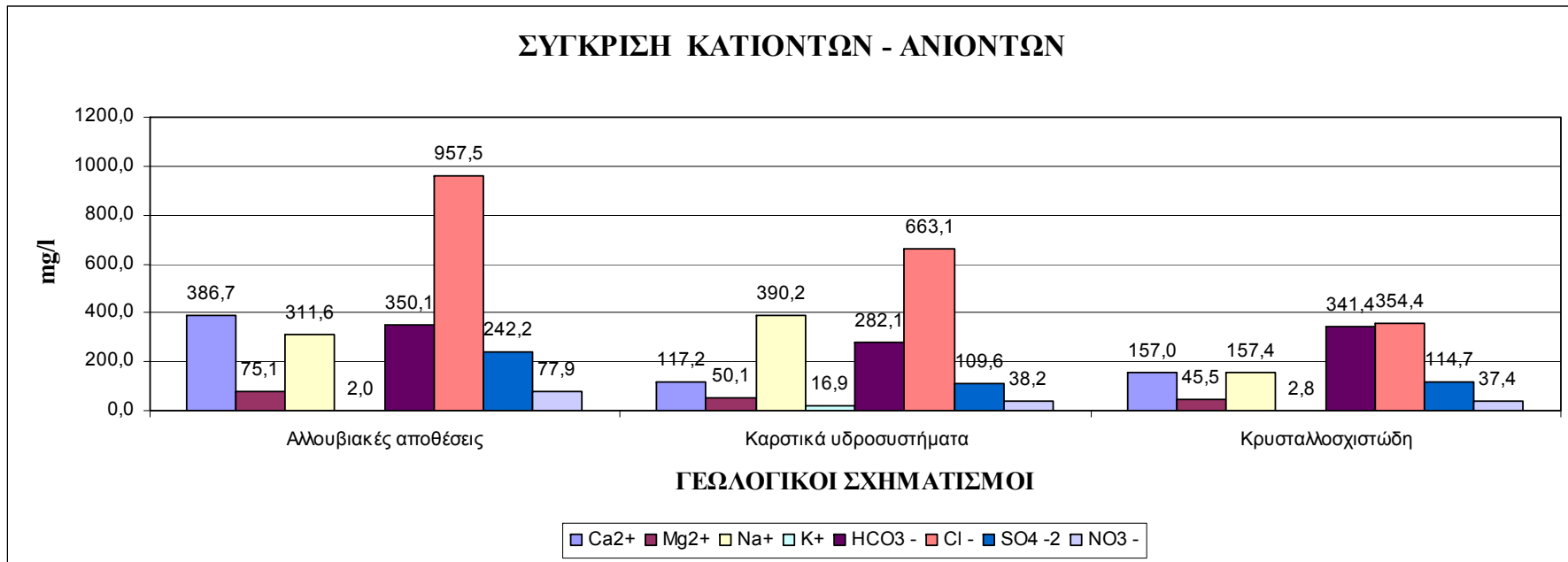
Στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα (sch & C-P,ph.qt), τα κυρίαρχα κατιόντα είναι το νάτριο (Na<sup>+</sup>) και το ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>), τα οποία εμφανίζουν την ίδια σχεδόν μέση συγκέντρωση, με τιμές 157 mg/l και 157,4 mg/l, αντίστοιχα, ενώ το δεύτερο κατά σειρά είναι το μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>) με μέση συγκέντρωση 45,5 mg/l. Επίσης, από τα ανιόντα, το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο (Cl<sup>-</sup>) με μέση συγκέντρωση 354,4 mg/l, ενώ το δεύτερο και τρίτο κατά σειρά είναι τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και τα θειικά (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), με συγκεντρώσεις 341,4 mg/l και 114,7 mg/l, αντίστοιχα (Σχ. 7.22). Επίσης, στις εικόνες 7.23 και 7.24 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των κύριων κατιόντων και ανιόντων, με την μορφή στατιστικών γραφημάτων ραβδογραμμάτων για το κάθε σημείο δειγματοληψίας.

Επιπρόσθετα, στα σχήματα 7.23 έως 7.28, απεικονίζονται τα ποσοστά των επιμέρους κατιόντων και ανιόντων των τριών μεγάλων σχηματισμών μελέτης. Σύμφωνα μ' αυτά, για τις αλλουβιακές αποθέσεις (Σχ. 7.23 και Σχ. 7.24) το ασβέστιο κυμαίνεται (Ca<sup>2+</sup>) από 35,6% έως 65,1%, το μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>) κυμαίνεται από 10,2% έως 23,7%, το νάτριο (Na<sup>+</sup>) κυμαίνεται από 24,6% έως 51,1% και το κάλιο (K<sup>+</sup>) κυμαίνεται από 0,1% έως 0,2%.

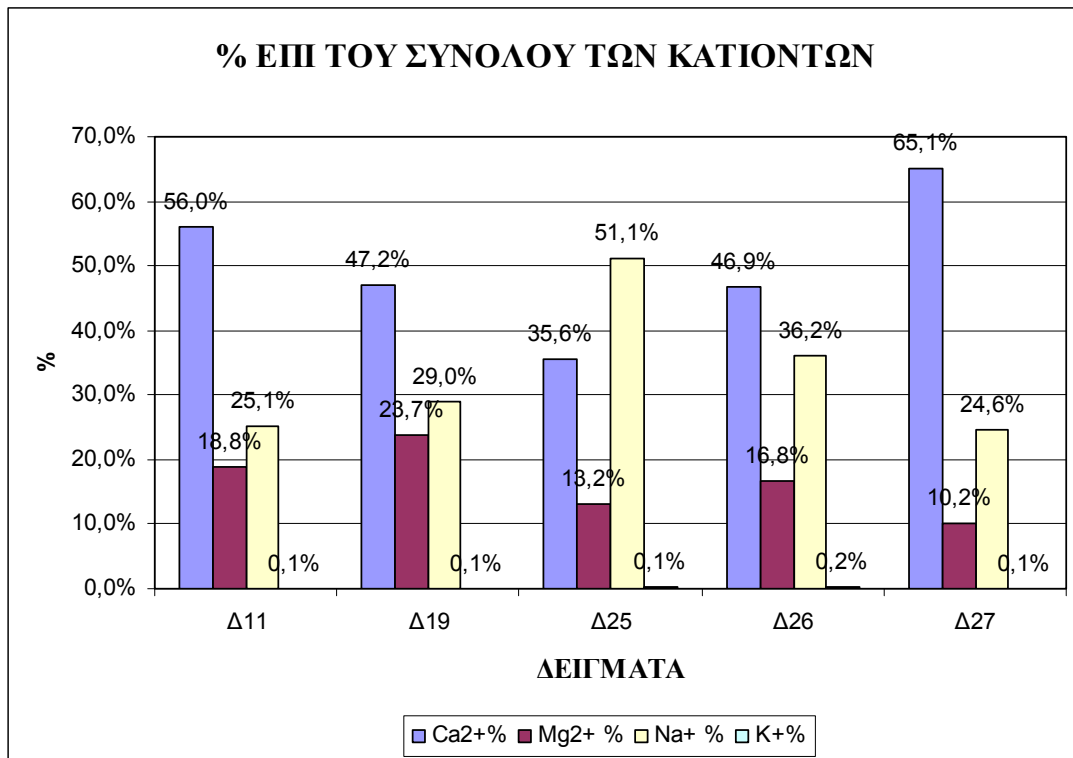
Επίσης στα ανιόντα, τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 10,3% έως 26,7%, το χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ) κυμαίνεται από 52,7% έως 77,1%, τα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) κυμαίνονται από 10,2% έως 17,6% και τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 2,1% έως 5,2%.

Στη καρστική υδροφορία (7.25 και 7.26), το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) κυμαίνεται από 10,9% έως 68,6%, το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ) κυμαίνεται από 5,1% έως 17,0%, το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) κυμαίνεται από 26,2% έως 72,6% και το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) κυμαίνεται από 0% έως 2,5%. Επίσης στα ανιόντα, τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 9,2% έως 62,3%, το χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ) κυμαίνεται από 29,7% έως 82%, τα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) κυμαίνονται από 4% έως 10,9% και τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 0,5% έως 5,1%.

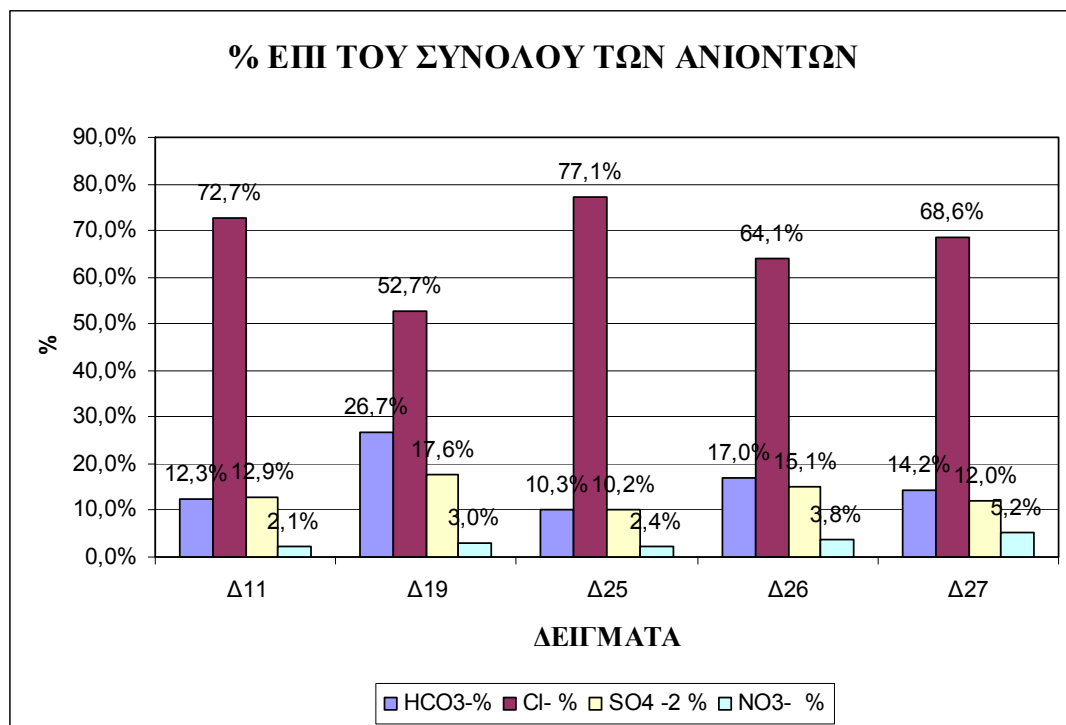
Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (7.27 και 7.28), το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ) κυμαίνεται από 18,6% έως 62,7%, το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ) κυμαίνεται από 5,4% έως 37,4%, το νάτριο κυμαίνεται από 21,2% έως 55,2% και το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) κυμαίνεται από 0% έως 2,3%. Επίσης στα ανιόντα, τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 16,9% έως 50,4%, το χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ) κυμαίνεται από 23,6% έως 71,2%, τα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) κυμαίνονται από 4,6% έως 20,7% και τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 1,1% έως 8,4%.



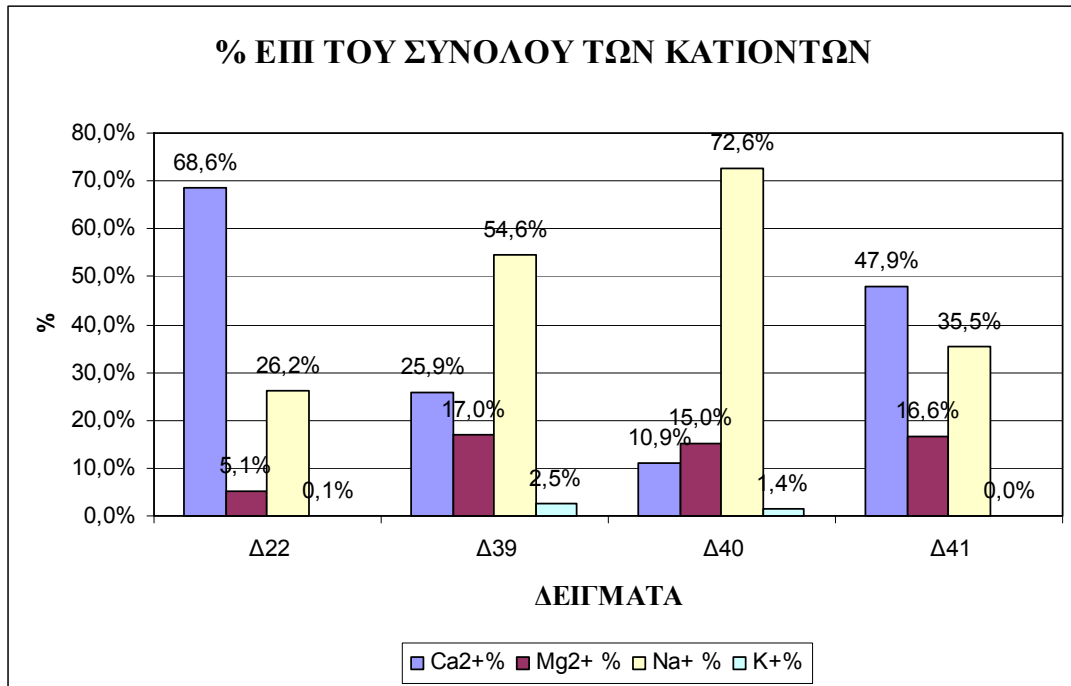
**Σχήμα 7.22:** Γράφημα σύγκρισης κατιόντων – ανιόντων, μεταξύ των τριών υδρολιθολογικών σχηματισμών (αλλουβιακές αποθέσεις, ανθρακικά πετρώματα – καρστική υδροφορία, κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα).



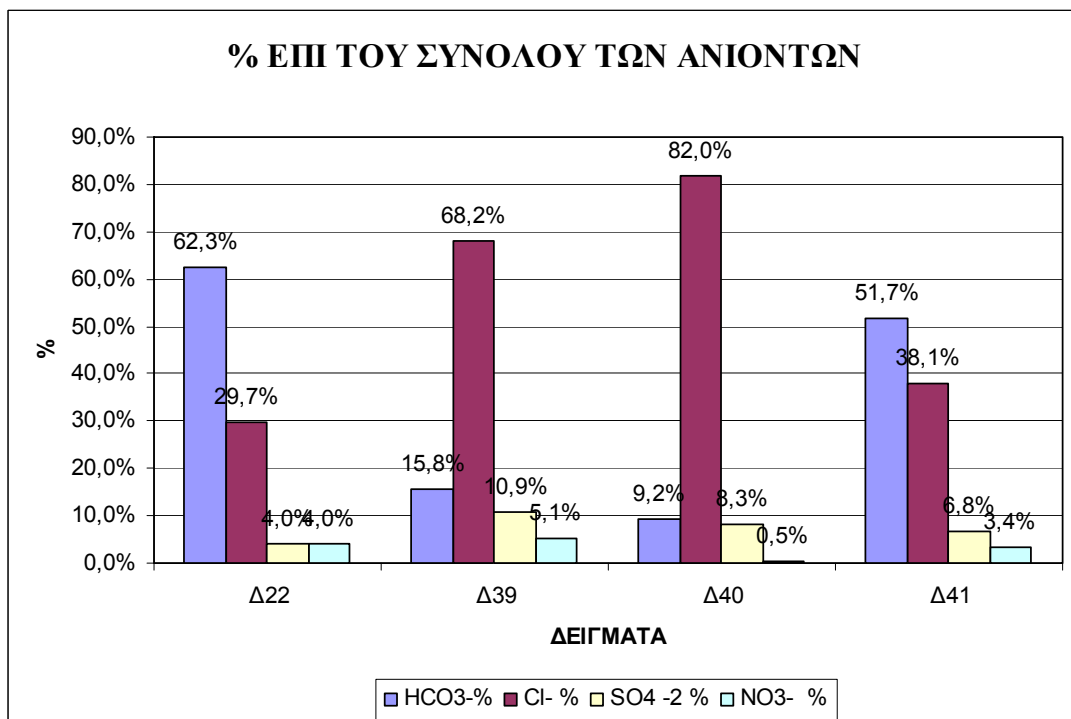
**Σχήμα 7.23:** Επιμέρους ποσοστά των κύριων κατιόντων στις αλλουβιακές αποθέσεις (α).



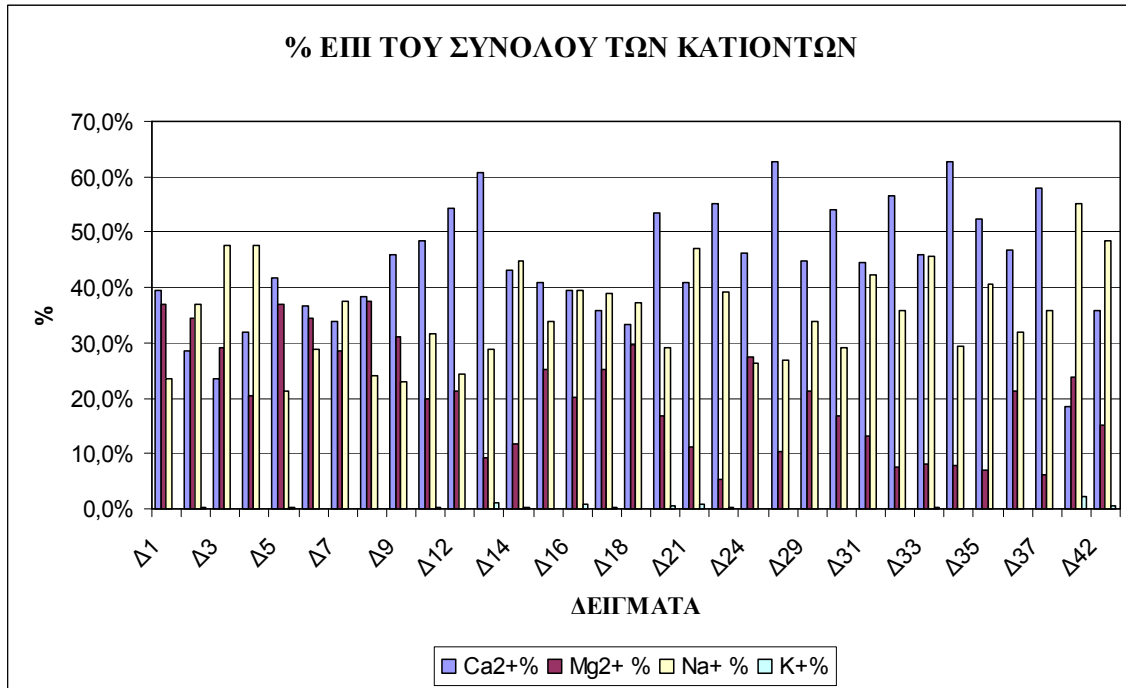
**Σχήμα 7.24:** Επιμέρους ποσοστά των κύριων ανιόντων στις αλλουβιακές αποθέσεις (α).



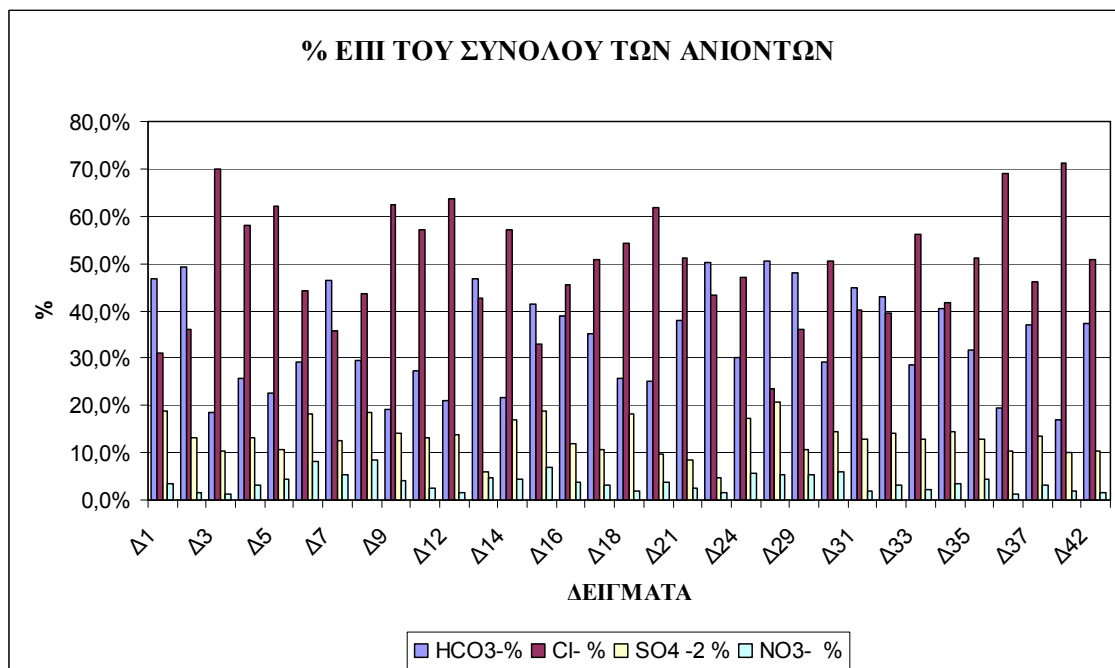
Σχήμα 7.25: Επιμέρους ποσοστά των κύριων κατιόντων στη καρστική υδροφορία (Ji-m.k).



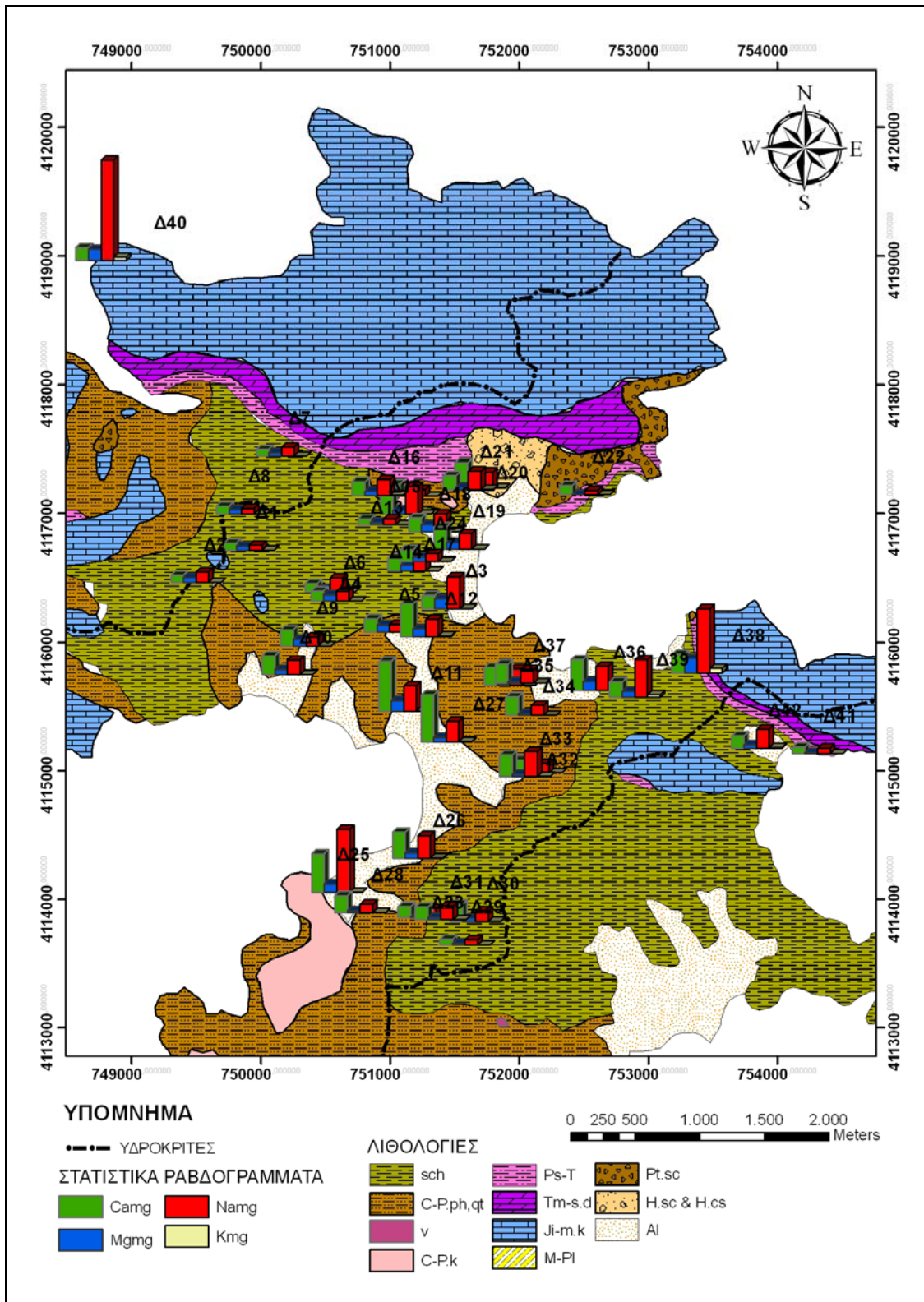
Σχήμα 7.26: Επιμέρους ποσοστά των κύριων ανιόντων στη καρστική υδροφορία (Ji-m.k).



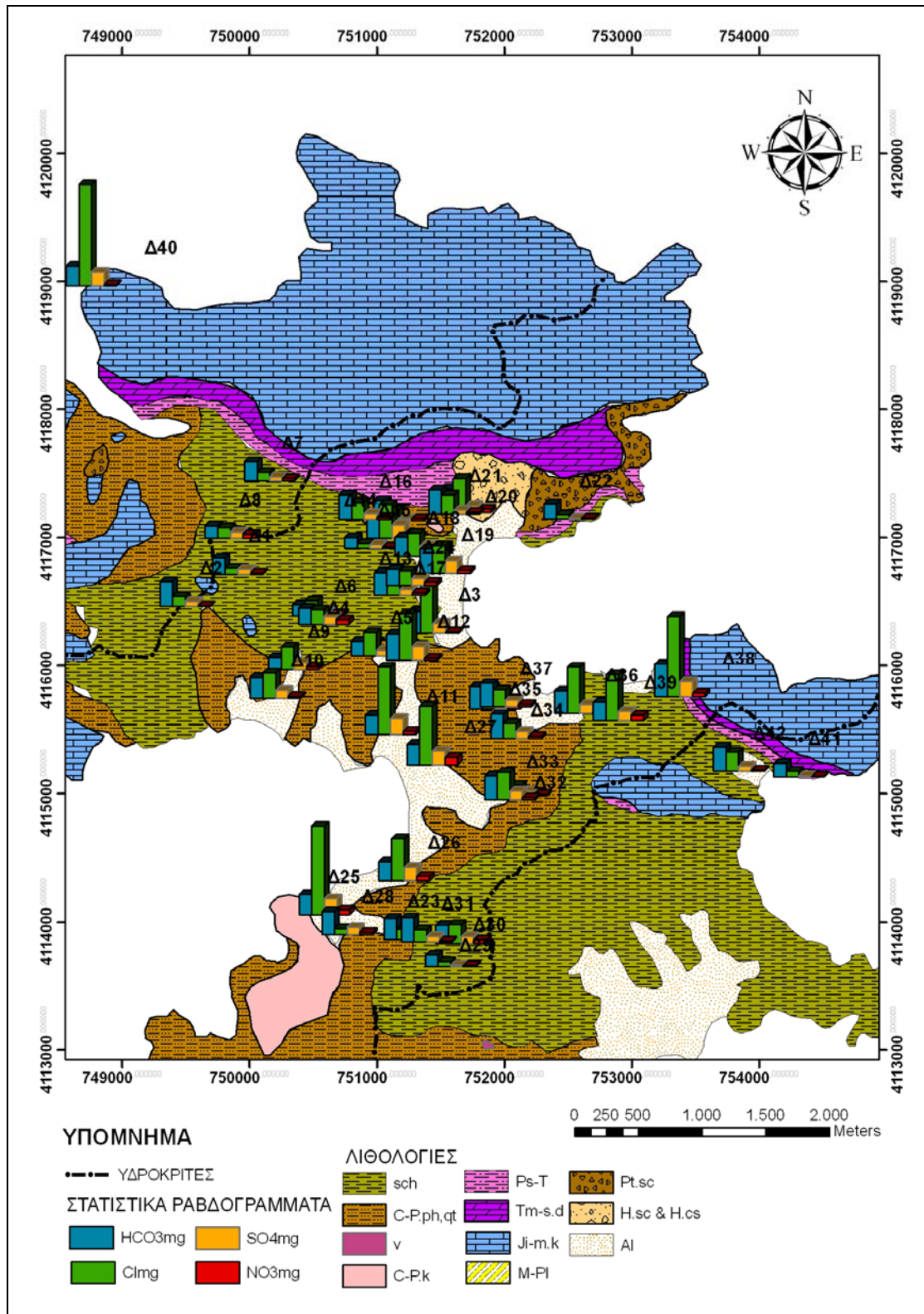
**Σχήμα 7.27:** Επιμέρους ποσοστά των κύριων κατιόντων στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (sch & C-P.ph.qt).



**Σχήμα 7.28:** Επιμέρους ποσοστά των κύριων κατιόντων στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (sch & C-P.ph.qt).



Εικόνα 7.23: Χάρτης απεικόνισης των κύριων κατιόντων, με τη μορφή των στατιστικών ραβδογραμμάτων, για το κάθε σημείο δειγματοληψίας.



Εικόνα 7.24: Χάρτης απεικόνισης των κύριων ανιόντων, με τη μορφή των στατιστικών ραβδογραμμάτων, για το κάθε σημείο δειγματοληψίας.

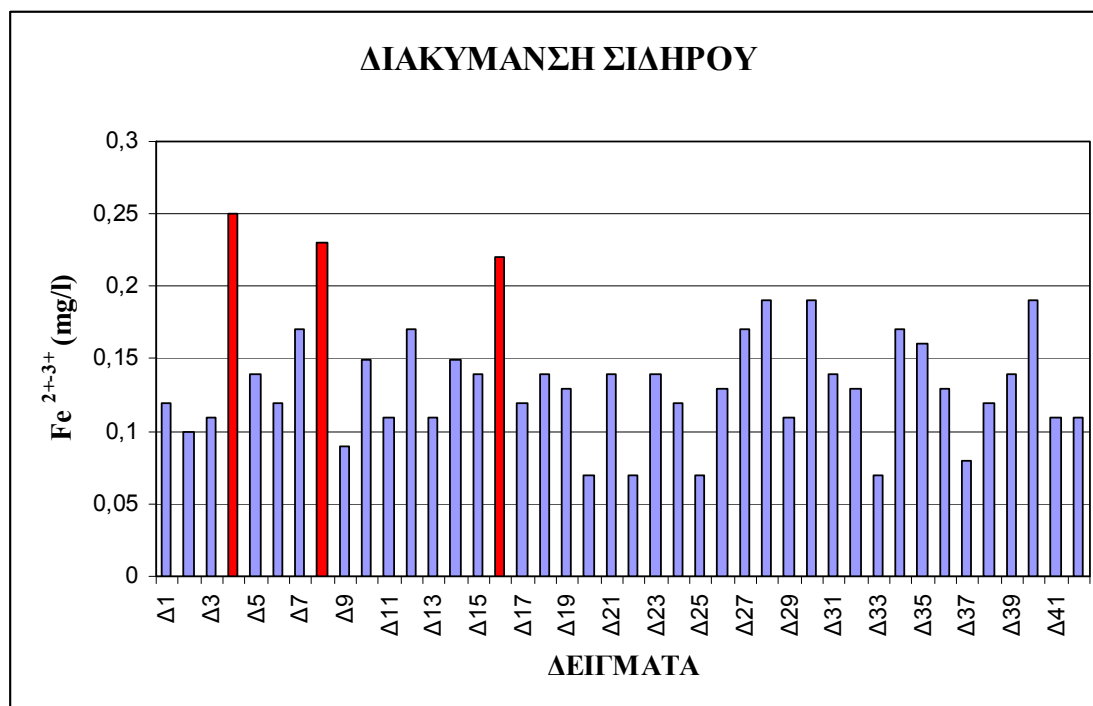


## 7.8 Βαρέα μέταλλα.

### 7.8.1. Σίδηρος ( $Fe^{2+} - Fe^{3+}$ ).

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο κατά βάρος στοιχείο, που απαντάται στα πετρώματα και στα εδάφη. Σύμφωνα με την σχετική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (98/83/EK), το ανώτατο επιτρεπτό όριο του σιδήρου στο πόσιμο νερό είναι 0,2 mg/l και σαν ενδεικτική τιμή 0,05 mg/l (80/778/EK), ενώ σύμφωνα με τον Βουδούρη (2009), η ενδεικτική τιμή είναι 0,02 mg/l.

Από την εργαστηριακή ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα της περιοχής μελέτης, διαπιστώνεται ότι μόνο το 7,1% επί των συνολικών δειγμάτων ξεπερνάει την ανώτερη επιτρεπτή συγκέντρωση, που θέτει η Ε.Ε (Δ4, Δ8, Δ16), (Σχ. 7.29 - κόκκινες στήλες), ενώ άλλο ένα 7,1% (επί των συνολικών δειγμάτων) σχεδόν το πλησιάζει (Δ40, Δ28, Δ30).



**Σχήμα 7.29:** Η διακύμανση του σιδήρου ( $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ ) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινες στήλες απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που υπερβαίνουν το ανώτατο όριο των 0,2 mg/l (98/83/EK).

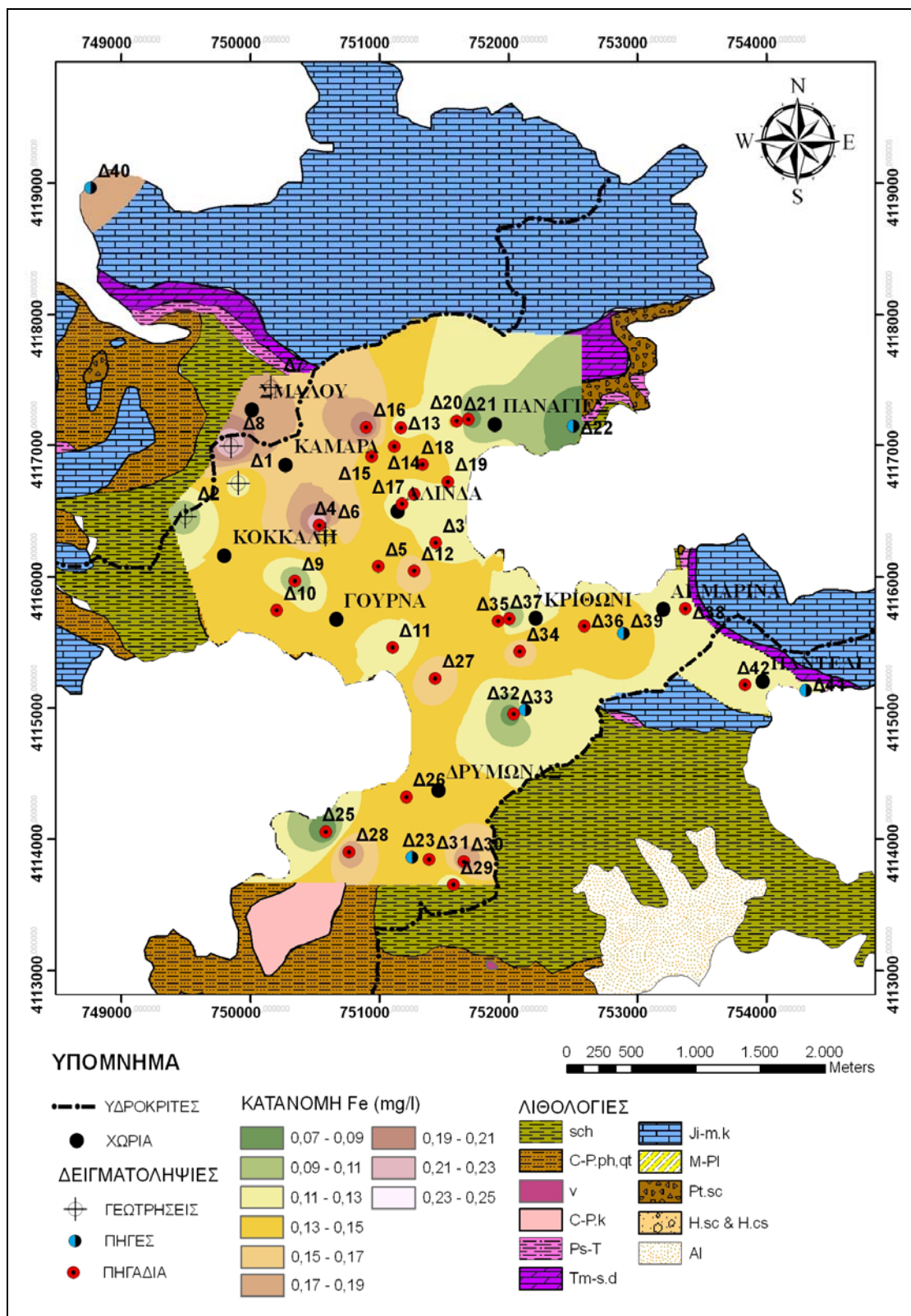
Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η συγκέντρωση του σιδήρου, στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 0,07 mg/l έως 0,17 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,12 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 9). Η παρουσία του σιδήρου οφείλεται στην διάβρωση αποσαθρωμένου υλικού απ' τα γειτονικά μεταμορφωμένα πετρώματα. Ειδικότερα, στην παραλιακή ζώνη της Γούρνας και του Δρυμόνα,

ο σίδηρος προέρχεται από τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (C-P, ph.qf), ενώ στην παραλιακή ζώνη των Αλίντων, απ' τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκου υποβάθρου (sch). Τα πρώτα εμφανίζουν μια διάσπαρτη και συμπαγή σιδηρούχα μεταλλοφορία, η οποία αποτελείται από μαγνητίτη, αιματίτη, υδροαιματίτη και λειμονίτη αλλά και απ' ενώσεις του σιδήρου, σε ανηγμένη και οξειδωμένη μορφή. Τα δεύτερα είναι πλούσια σε αλμανδίνη, βιοτίτη και κεροστίλβη (Φύλλο I.G.M.E., 1999). Τέλος, από τα δείγματα, που έχουν αναλυθεί απ' τις αλλουβιακές αποθέσεις, κανένα δείγμα υπόγειου νερού δεν ξεπερνά το ανώτατο όριο συγκέντρωσης, που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό.

Στη καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του σιδήρου κυμαίνεται από 0,07 mg/l έως 0,19 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,13 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 9). Στο καρστικό νερό, η πηγή προέλευσης του σιδήρου είναι το ορυκτό σιδερίτης ( $\text{FeCO}_3$ ) και η απόπλυση αργιλικών προσμίξεων, που περιέχουν οξείδια του σιδήρου. Όσον αφορά, το ανθρακικό ορυκτό σιδερίτη ( $\text{FeCO}_3$ ) είναι μια συνηθισμένη πρόσμιξη ασβεστίτη και δολομίτη (Καλλέργης, 2000 & Appelo et al, 1993), που σύμφωνα με τους Stanley Davis και Roger DeWiest, (1966), θεωρούν ότι η συγκέντρωση των ιόντων σιδήρου στα υπόγεια νερά είναι περιορισμένη και πρέπει να κυμαίνεται από 1 mg/l έως 10 mg/l, όταν το pH κυμαίνεται από 6 έως 8 και η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων είναι μικρή.

Στην περίπτωση μας, οι συγκεντρώσεις του σιδήρου έχουν τιμές κάτω από 1 mg/l, αν και οι τιμές του pH κυμαίνεται από 6 έως 8, αλλά οι συγκεντρώσεις των  $\text{HCO}_3$  είναι υψηλές. Αυτό πιθανόν συμβαίνει, λόγω της περιορισμένης εμφάνισης του σιδερίτη ( $\text{FeCO}_3$ ), ο οποίος πληρώνει τις διακλάσεις - διαρρήξεις των ασβεστόλιθων (Ji-m.k), σύμφωνα με το γεωλογικό φύλλο του I.G.M.E (1999). Τέλος, από τα δείγματα, που έχουν αναλυθεί απ' τα καρστικά υδροσυστήματα, κανένα από αυτά δεν ξεπερνά το ανώτατο όριο συγκέντρωσης, που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό.

Στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, η συγκέντρωση του σιδήρου στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 0,07 mg/l έως 0,25 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,14 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 9). Οι πηγές προέλευσης του σιδήρου είναι οι ίδιες μ' εκείνες που περιγράψαμε στις αλλουβιακές αποθέσεις, με την διαφορά ότι υπάρχουν τρία σημεία δειγματοληψίας, τα οποία ξεπερνούν τα όρια, που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό. Αυτά είναι τα δείγματα Δ4, Δ8, Δ16, τα οποία βρίσκονται εντός των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του βαρίσκου υποβάθρου (sch) και συγκεκριμένα στην ζώνη μεταμόρφωσης του γρανάτη, η οποία είναι πλούσια σε αλμανδίνη, άρα και σε προσφορά σιδήρου. Γενικά, στον χάρτη κατανομής του Fe (Εικ. 7.25) παρατηρούμε ότι οι μικρότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις καρστικές πηγές εκτός απ' την παράκτια πηγή Ρήνα, αλλά και στις αλλουβιακές αποθέσεις των παράκτιων περιοχών, ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στις ενδοχωρικές περιοχές, λόγω των μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

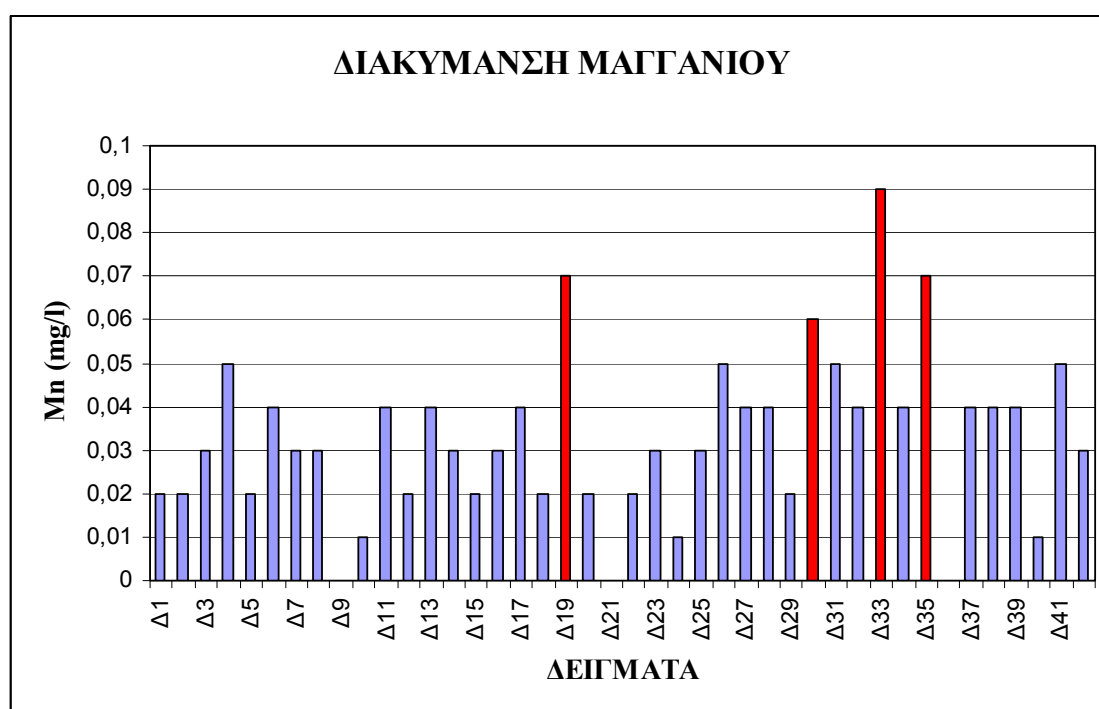


Εικόνα 7.25: Χάρτης, της χωρικής κατανομής του σιδήρου (Fe), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

### 7.8.2. Μαγγάνιο (Mn).

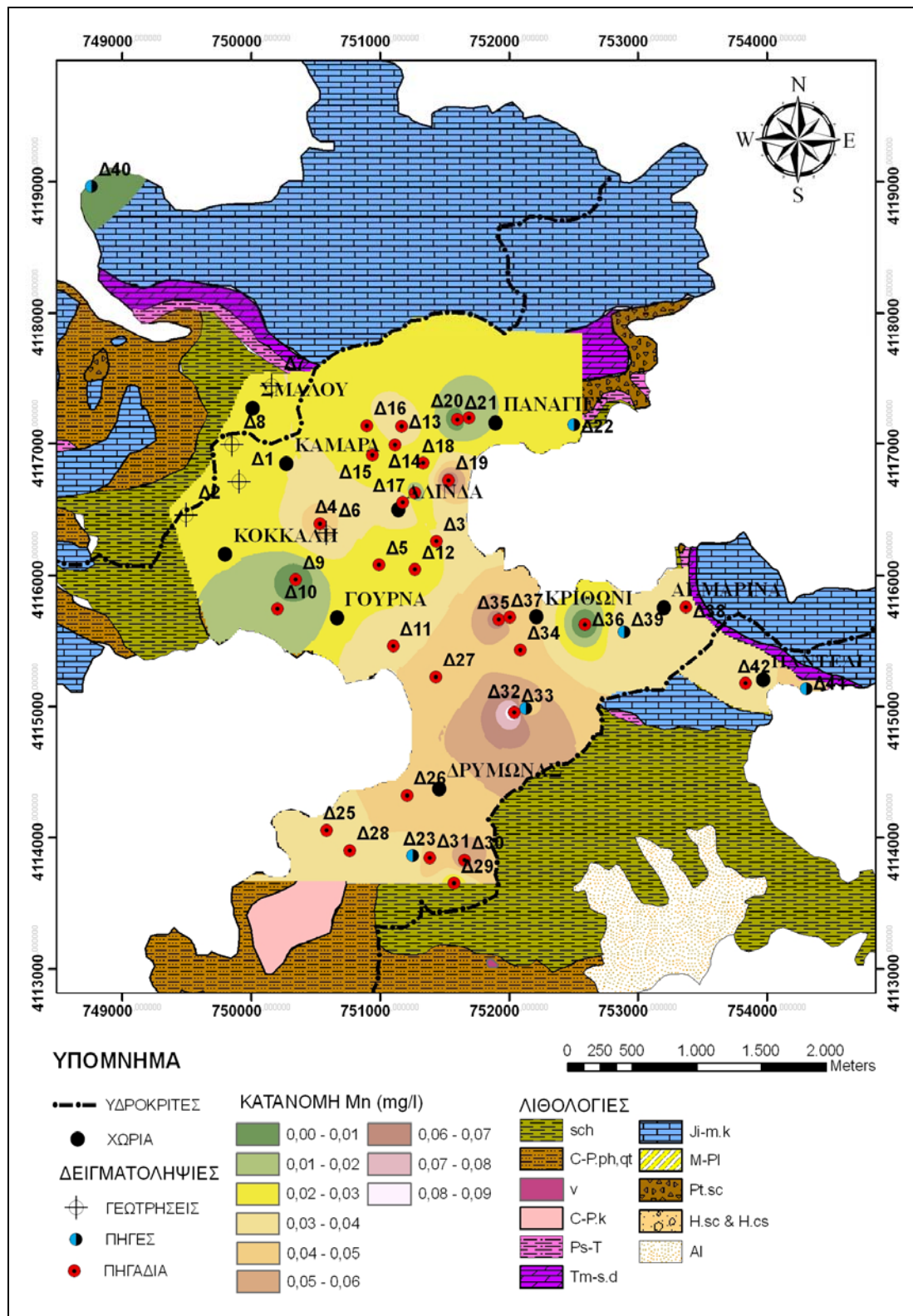
Στα υπόγεια νερά, οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου (Mn) δεν ξεπερνούν τα 0,2 mg/l (Ταβουλάρης, 2006). Οι σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την συγκέντρωση του Mn στο πόσιμο νερό, καθορίζουν ως ενδεικτική τιμή τα 0,02 mg/l (80/778/E.E) και ως ανώτερη παραδεκτή τιμή 0,05 mg/l (98/83/EK).

Από την εργαστηριακή ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα της περιοχής μελέτης, διαπιστώνεται ότι μόνο το 9,5% επί των συνολικών δειγμάτων ξεπερνάει την ανώτερη επιτρεπτή συγκέντρωση, που θέτει η Ε.Ε (Δ19, Δ30, Δ33, Δ35), (Σχ. 7.30.- κόκκινες στήλες) και άλλο ένα 9,5%, επί των συνολικών δειγμάτων, βρίσκεται στο όριο, που θέτει η Ε.Ε (Δ26, Δ41, Δ4, Δ31).



**Σχήμα 7.30:** Η διακύμανση του μαγγανίου (Mn) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που ξεπερνούν το όριο των 0,05mg/l (98/83/EK).

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, η συγκέντρωση του μαγγανίου στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 0,03 έως 0,07 και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,05 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 9). Από τα δείγματα, που αναλύθηκαν, μόνο το δείγμα Δ19 ξεπερνά την ανώτερη παραδεκτή τιμή, που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό. Πιθανόν, αυτό οφείλεται στο υλικό διάβρωσης, το οποίο έχει μεταφερθεί, μέσω του υδρογραφικού δικτύου, απ' τους γειτονικούς σχιστόλιθους του βαρίσκιου υποβάθρου (sch) στο πεδίο απόθεσης, στο οποίο τοποθετείται το σημείο Δ19.



Εικόνα 7.26: Χάρτης της χωρικής κατανομής του μαγγανίου (Mn), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Βασική πηγή προέλευσης του μαγγανίου είναι τα διάφορα μαγγανιούχα ορυκτά που βρίσκονται εντός των μεταμορφωμένων σχηματισμών, όπως είναι το ορυκτό σπεςσαρτίνης ( $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ ).

Στην καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του μαγγανίου κυμαίνεται από 0,01 mg/l έως 0,05 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,03 mg/l (Παράρτημα - Πίνακας 9). Επίσης, καμία καρστική πηγή δεν ξεπερνά το όριο, που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό και αντιπροσωπεύουν τις μικρότερες πηγές.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων η συγκέντρωση του μαγγανίου κυμαίνεται από 0 mg/l έως 0,09 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,03 mg/l (Παρ-Πίνακας 9).

Στο σχήμα 7.30 παρατηρούμε με κόκκινο χρώμα τα δείγματα υπόγειων νερών (Δ30, Δ33, Δ35), που ξεπερνούν το όριο, που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του δείγματος Δ30, μπορεί να δικαιολογηθεί με τον ίδιο τρόπο, όπως και το Δ19 στις αλλουβιακές αποθέσεις. Τα δείγματα Δ33 και Δ35 τοποθετούνται στα ημιμεταμορφωμένα μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης πετρώματα (C-P.ph.qt), στα οποία δεν έχει αναφερθεί κάποιο Mn-ρούχο ορυκτό, αλλά αυτό δεν αποκλείει την ύπαρξη του μέσα στους μεταπηλίτες της περιοχής (Εικ. 7.26).

### **7.8.3. Ψευδάργυρος (Zn).**

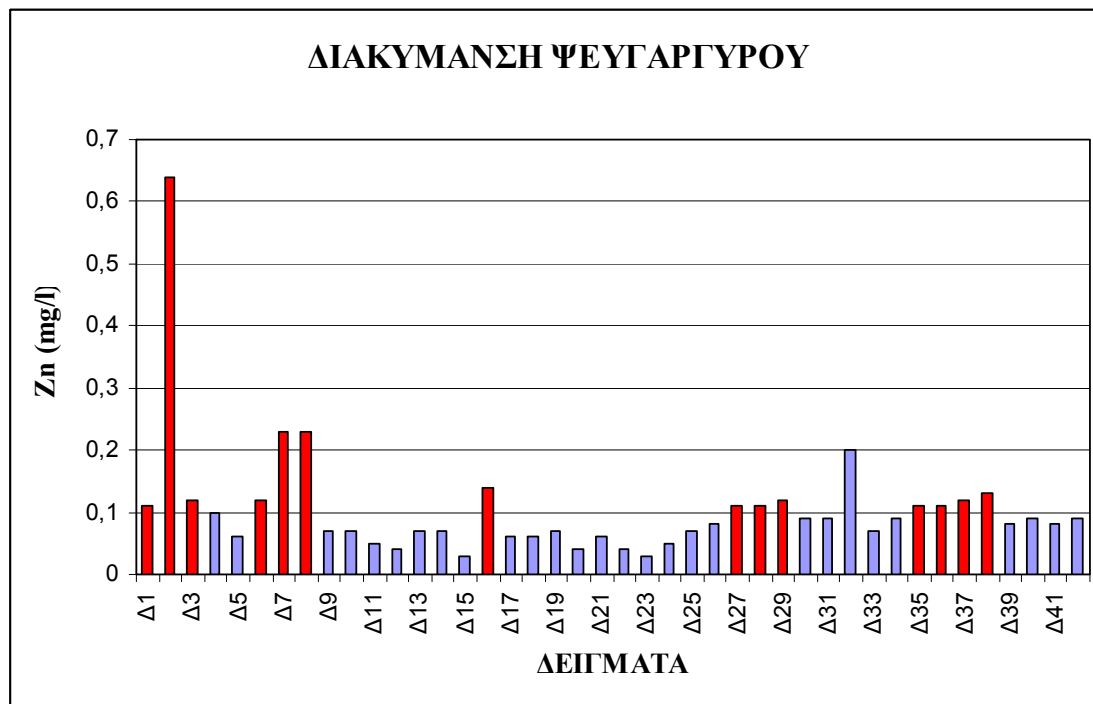
Στα φυσικά νερά, οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου δεν ξεπερνούν τα 0,01 mg/l, ενώ στα υπόγεια νερά κυμαίνονται από 0 έως 0,22 mg/l (Ταβουλάρης, 2006). Η σχετική οδηγία της Ε.Ε συγκαταλέγει τον ψευδάργυρο στην κατηγορία των ανεπιθύμητων ουσιών και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση στο πόσιμο νερό 0,1 mg/l (80/778/Ε.Ε).

Από την εργαστηριακή ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα της περιοχής μελέτης, διαπιστώνεται ότι μόνο το 35,7% επί των συνολικών δειγμάτων ξεπερνάει την ανώτερη επιτρεπτή συγκέντρωση, που θέτει η Ε.Ε (Σχ. 7.31). Γενικά, ο ψευδάργυρος μπορεί να υπάρχει στα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής και να προσροφάται στα αργιλικά ορυκτά.

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων, η συγκέντρωση του ψευδαργύρου (Zn) κυμαίνεται από 0,05 mg/l έως 0,11 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,08 mg/l (Παρ-Πίνακας 9). Απ' τα δείγματα του υπόγειου νερού, μόνο το δείγμα Δ27 υπερβαίνει σε μικρό βαθμό το ανώτερο όριο, που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό.

Στην καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του ψευδαργύρου κυμαίνεται από 0,04 mg/l έως 0,09 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,07 mg/l (Παρ-Πίνακας 9). Αυτές οι τιμές δεν υπερβαίνουν το όριο, που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό.

Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, η διακύμανση της συγκέντρωσης του ψευδάργυρου, στα υπόγεια νερά, κυμαίνεται από 0,03 mg/l έως 0,64 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,11 mg/l (Παρ - Πίνακας 9).



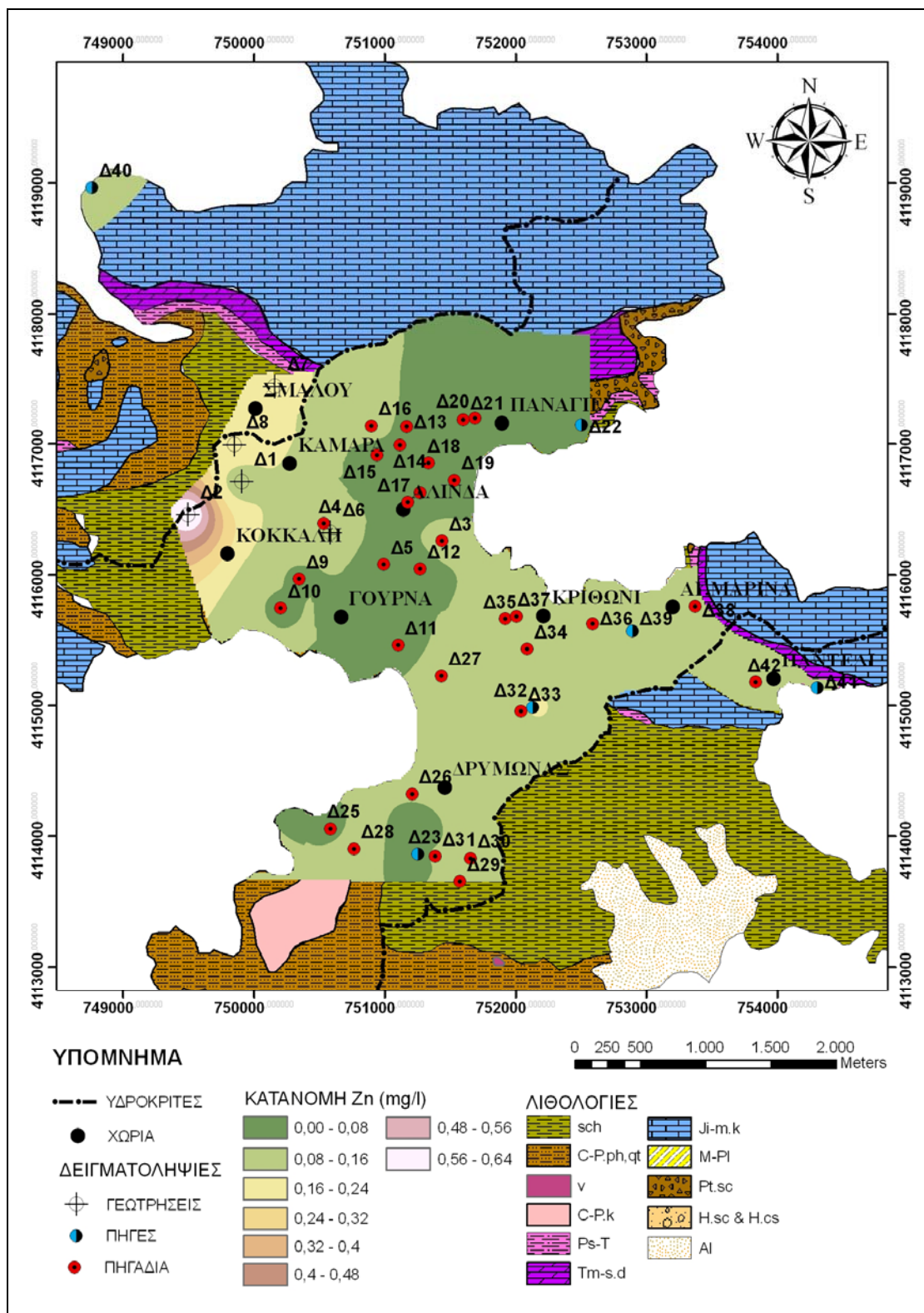
**Σχήμα 7.31:** Η διακύμανση του ψευδαργύρου (Zn) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που ξεπερνούν το όριο των 0,1 mg/l (80/778/Ε.Ε).

Στην εικόνα 7.27 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου (Zn) στα υπόγεια νερά της περιοχής. Διαπιστώνεται ότι οι ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις γεωτρήσεις του βορειοδυτικού τμήματος της περιοχής ενδιαφέροντος.

#### 7.8.4. Νικέλιο (Ni).

Το νικέλιο αποτελεί ένα τοξικό ιχνοστοιχείο, με ανώτατο επιτρεπτό όριο από την Ε.Ε τα 0,02 mg/l για πόσιμη κατανάλωση (98/83/ΕΚ). Σε σχέση με τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, που επεξεργάστηκαν, το νικέλιο παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά υπέρβασης, δηλαδή μόνο το 2,4% (Δ11), επί των συνολικών δειγμάτων, δεν υπερβαίνει το όριο (Σχ. 7.32 - κενή στήλη), που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό.

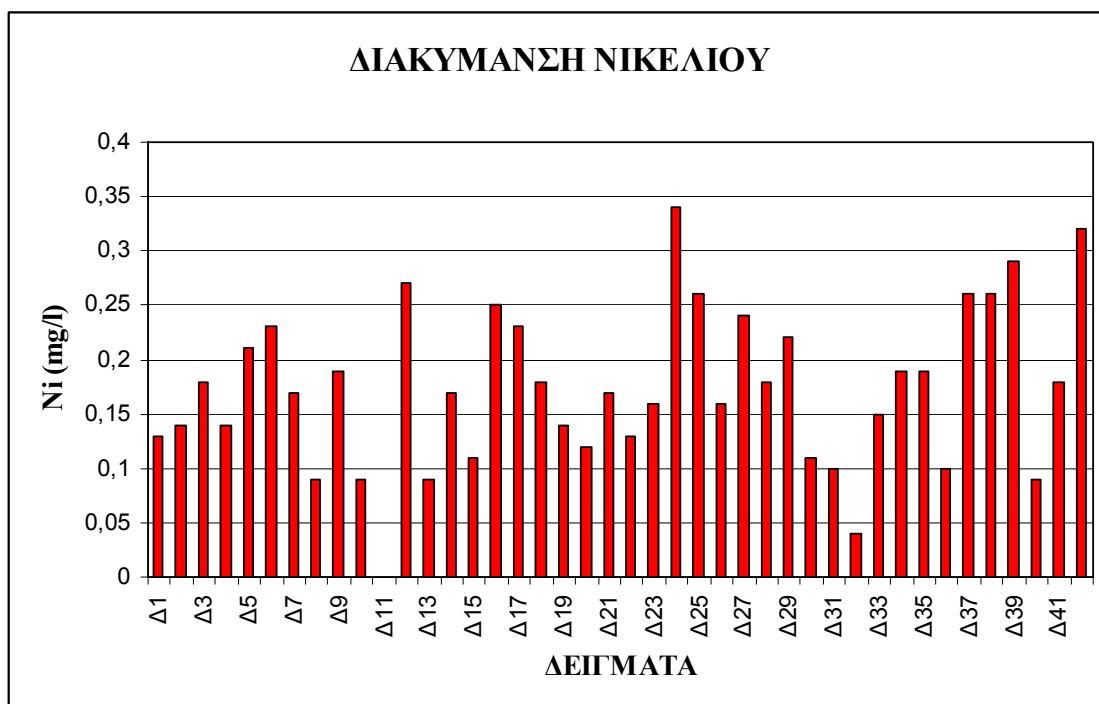
Στις υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων η συγκέντρωση του νικελίου (Ni) κυμαίνεται από 0 mg/l έως 0,26 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,16 mg/l (Παρ-Πίνακας 5).



Εικόνα 7.27: Χάρτης της χωρικής κατανομής του ψευδαργύρου (Zn), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.



Βασική πηγή προέλευσης του νικελίου αποτελούν τα αργιλικά ορυκτά, όπως είναι οι σμεκτίτες (Sioulas et al, 1998). Οι σμεκτίτες είναι αργιλικά ορυκτά, τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σ' αυτούς, που είναι πλούσιοι σε νικέλιο (Ni), και σ' αυτούς, που είναι πλούσιοι σε Mg. Οι Mg-ούχοι προέρχονται από την διάβρωση του πυρόξενου και του σερπεντίνη, ενώ αυτοί που είναι κυρίως Ni-ούχοι είναι πλούσιοι σε Ni, Cr<sup>+3</sup>, Fe και Al, λόγω της διάβρωσης του ολιβίνη (J. Garnier et al, 2009). Στην περίπτωση μας όμως, δεν μπορούμε να υποστηρίξουμε ακριβώς το είδος των σμεκτιτών, αφού, στην περιοχή μελέτης, δεν έχουμε υπερβασικά πετρώματα, αλλά ούτε και ολιβίνη. Πιθανόν, όμως, να προέρχονται από την διάβρωση γρανατών.

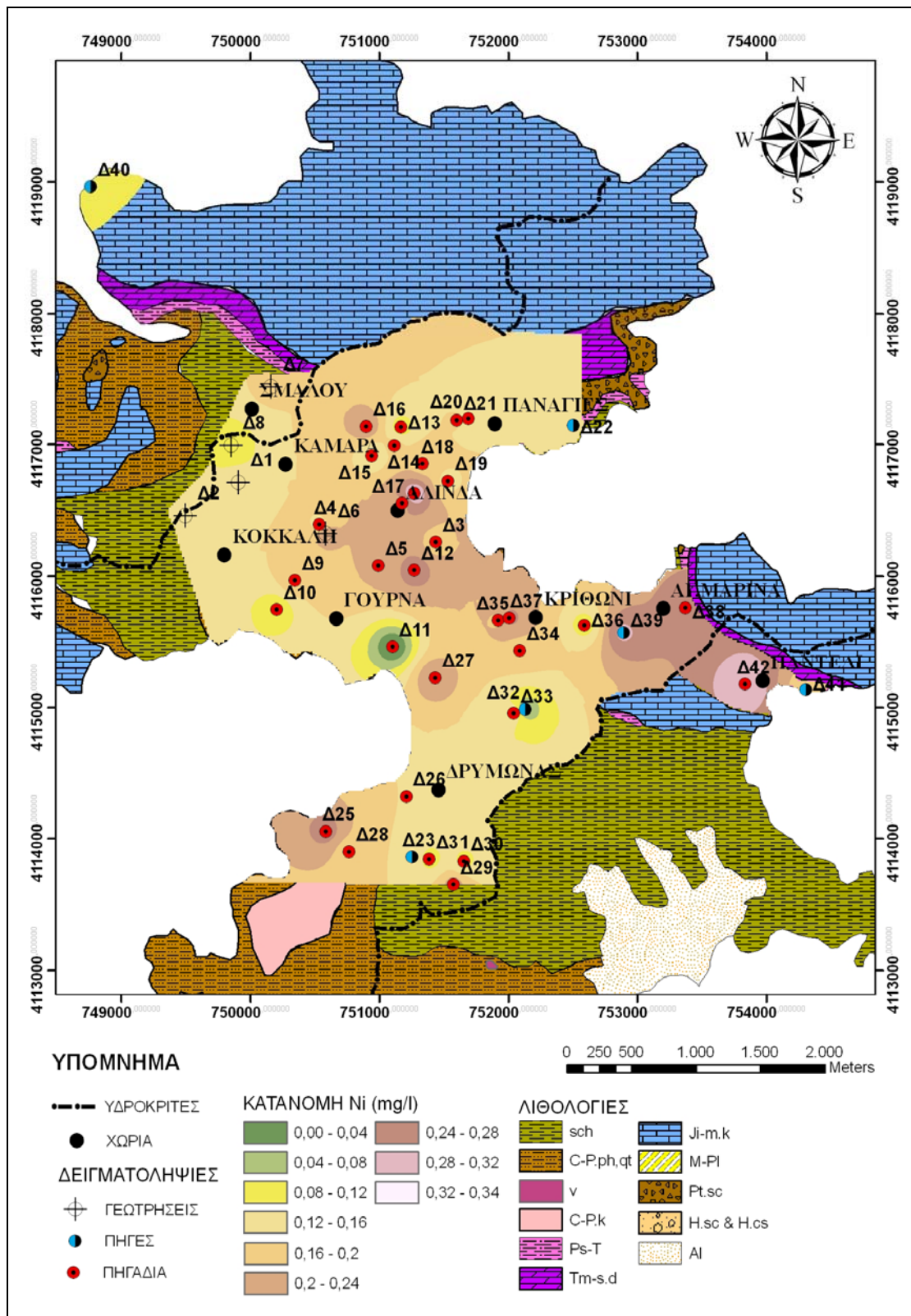


**Σχήμα 7.32:** Η διακύμανση του νικελίου (Ni) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που ξεπερνούν το όριο των 0,02 mg/l (98/83/EK).

Στην καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του νικελίου κυμαίνεται από 0,09 mg/l έως 0,29 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,17 mg/l.

Στα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα η συγκέντρωση του νικελίου κυμαίνεται μεταξύ 0,04 mg/l και 0,34 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,18 mg/l (Παρ-Πίνακας 9).

Γενικά, παρατηρούμε στο χάρτη κατανομής του νικελίου (Εικ. 7.28) ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις περιοχές Παντέλι, Αγ. Μαρίνα και Άλιντα, ενώ οι μικρές συγκεντρώσεις είναι περιορισμένες (Δ11, Δ33).



**Εικόνα 7.28:** Χάρτης χωρικής κατανομής του νικελίου (Ni), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

### 7.8.5. Χρώμιο (Cr).

Το χρώμιο συγκαταλέγεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις τοξικές ουσίες, με ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 0,05 mg/l στο πόσιμο νερό. Στη περιοχή μελέτης, παρατηρούμε ότι και στις τρεις υδρολιθολογικές ενότητες, οι συγκεντρώσεις χρωμίου, σε όλα τα δείγματα του υπόγειου νερού, υπερβαίνουν το όριο, που θέτει η Ε.Ε (Σχ. 7.33). Αυτή η υπέρβαση οφείλεται στην παρουσία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, τα οποία είναι πλούσια σε ιχνοστοιχεία χρωμίου.

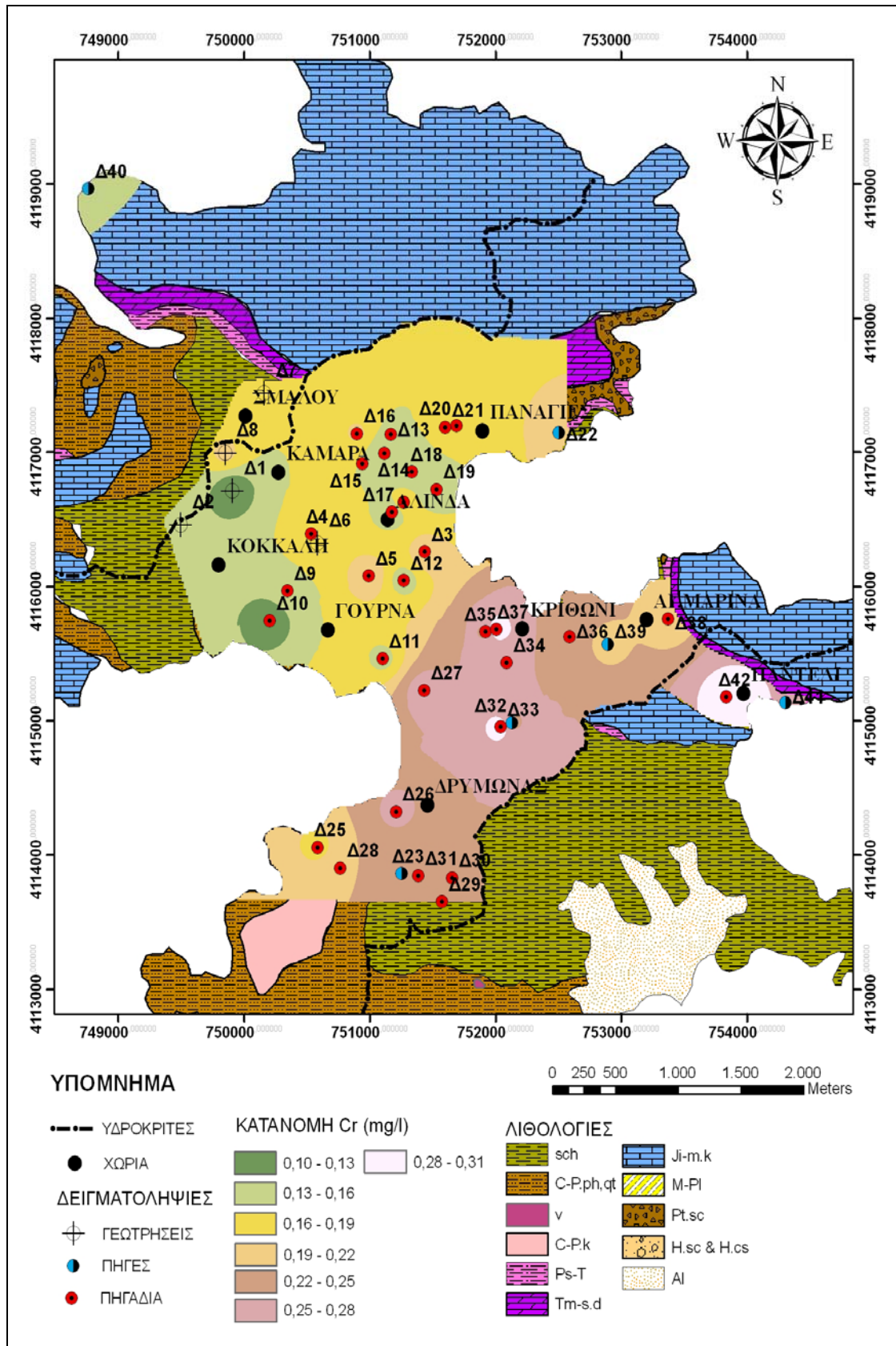


**Σχήμα 7.33:** Η διακύμανση του χρωμίου (Cr) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που ξεπερνούν το όριο των 0,05 mg/l (98/83/ΕΚ).

Η συγκέντρωση του χρωμίου στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων κυμαίνεται από 0,14 έως 0,27 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,2 mg/l. Στη καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση του χρωμίου κυμαίνεται από 0,15 mg/l έως 0,28 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,22 mg/l.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων, η συγκέντρωση κυμαίνεται από 0,1 mg/l έως 0,31 και μια μέση τιμή 0,19 mg/l (Παρ-Πίνακας 9).

Στον χάρτη κατανομής του χρωμίου (Εικ. 7.29), παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (Κριθώνι, Αγ. Μαρίνα, Δρυμώνας), ενώ οι χαμηλότερες τιμές στο βόρειο τμήμα και ιδιαίτερα στην περιοχή Κόκκαλη.



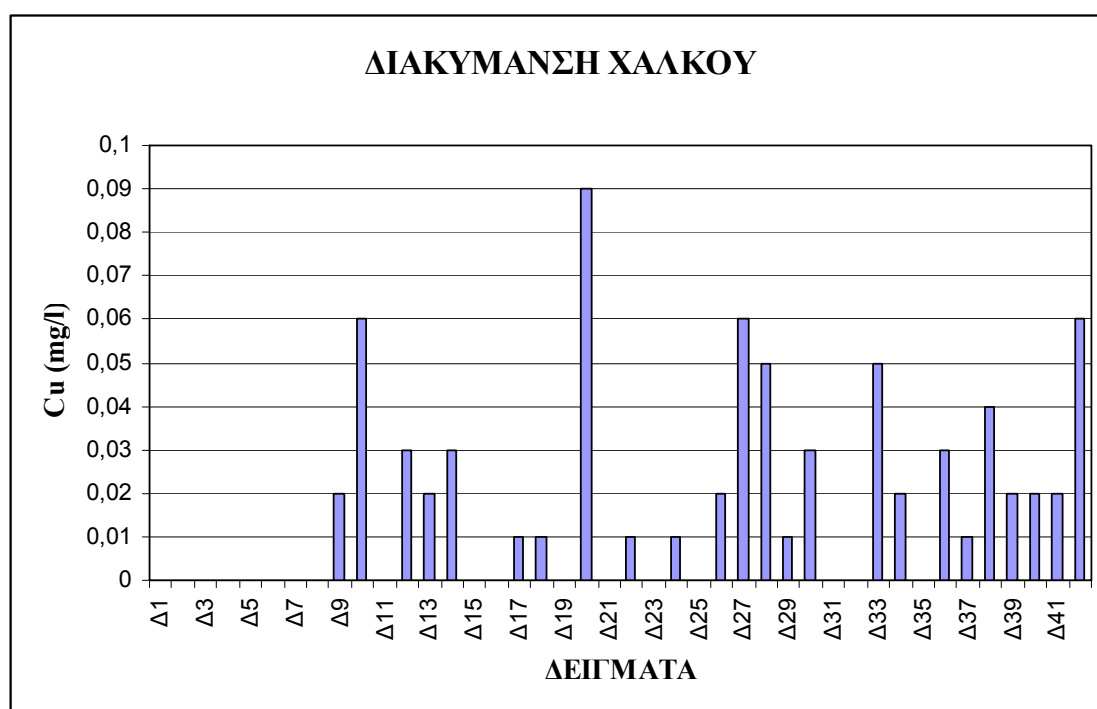
Εικόνα 7.29: Χάρτης χωρικής κατανομής του χρωμίου (Cr), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

### 7.8.6. Χαλκός (Cu).

Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του χαλκού βρίσκεται κάτω από 1 mg/l. Στο πόσιμο νερό, η ανώτατη παραδεκτή τιμή, σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι 2 mg/l.

Οι συγκεντρώσεις χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και κανένα δείγμα δεν ξεπερνά το παραπάνω ανώτατο επιτρεπτό όριο της Οδηγίας (Σχ. 7.34).

Βασική πηγή προέλευσης του χαλκού αποτελούν τα μεταμορφωμένα πετρώματα και τα αργιλικά ορυκτά.



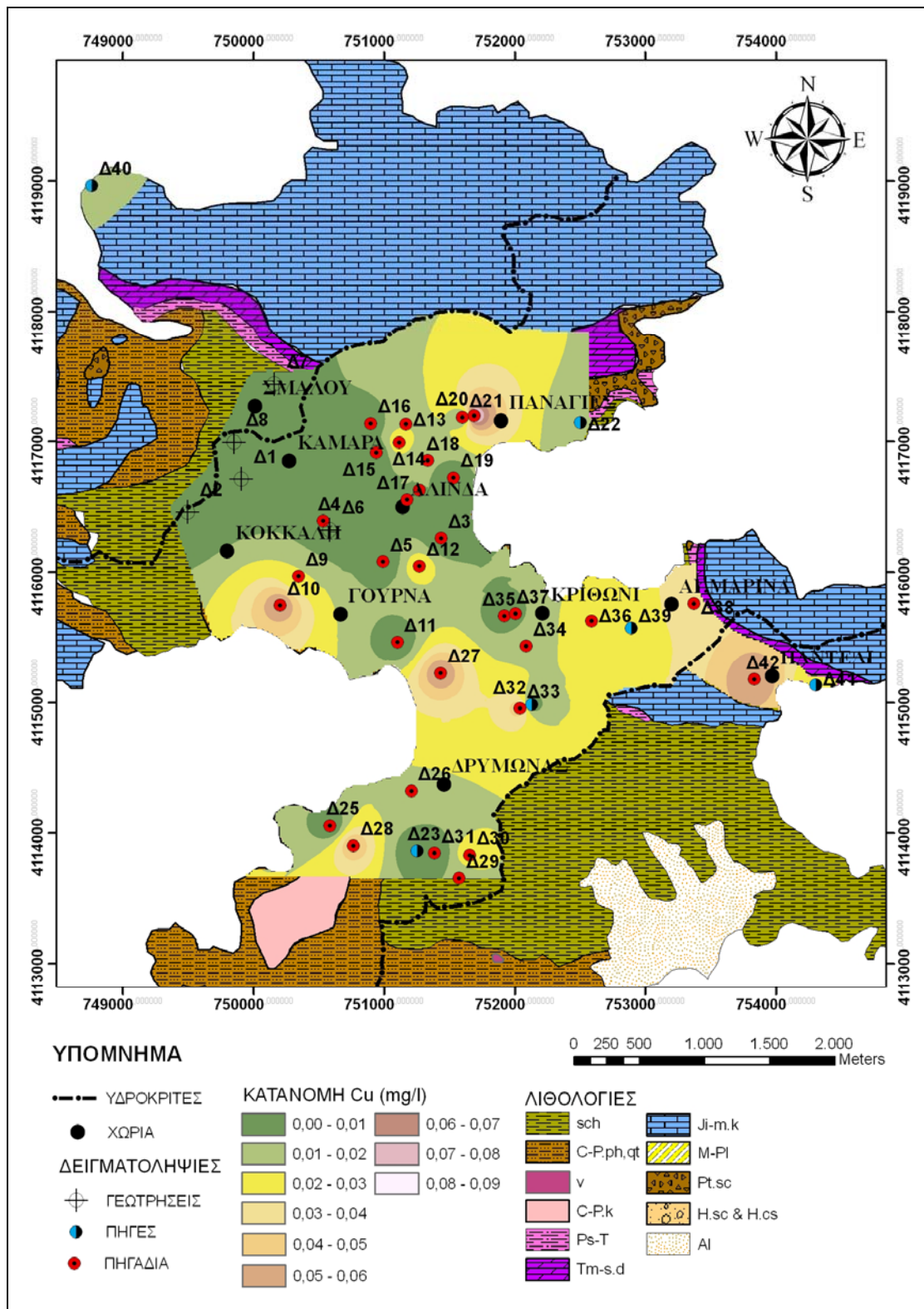
**Σχήμα 7.34:** Η διακύμανση του χαλκού (Cu) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

Στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων η συγκέντρωση του χαλκού κυμαίνεται μεταξύ 0 mg/l έως 0,06 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,02 mg/l.

Στην καρστική υδροφορία οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0,01 mg/l έως 0,02 mg/l. Η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,02 mg/l.

Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0 mg/l και 0,09 mg/l. Η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,02 mg/l (Παρ-Πίνακας 9).

Στον χάρτη κατανομής του χαλκού (Εικ. 7.30), παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κατά τόπους στο νότιο και δυτικό τμήμα (Δ20, Δ42, Δ10, Δ27, Δ28, Δ42, Δ38). Στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αναπτύσσονται χαμηλές συγκεντρώσεις.



Εικόνα 7.30: Χάρτης χωρικής κατανομής του χαλκού (Cu), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

### 7.8.7. Κάδμιο (Cd).

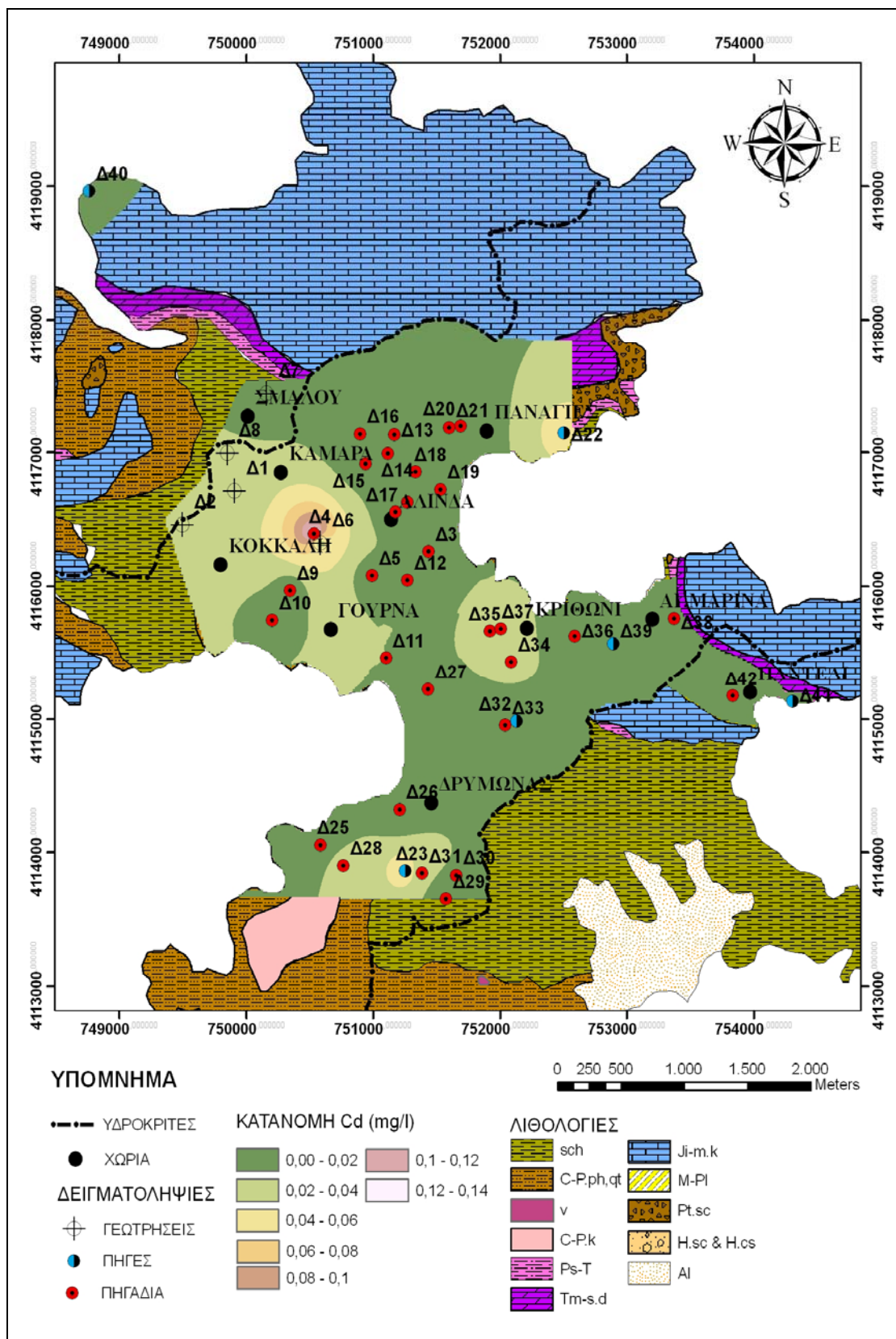
Η σχετική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης συγκαταλέγει το κάδμιο στην κατηγορία των τοξικών ουσιών, δίνοντας σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση καδμίου στο πόσιμο νερό τα 0,005 mg/l.

Από το σύνολο των δειγμάτων που προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του καδμίου, μόνο το 21,4% δεν ξεπερνά το όριο της ποσιμότητας (Σχ. 7.35), δηλαδή εννιά δείγματα (Δ7, Δ13, Δ16, Δ25, Δ26, Δ32, Δ39, Δ40 - κενές στήλες). Συγκεκριμένα, το ποσοστό υπέρβασης των δειγμάτων από τις χαλαρές αποθέσεις είναι 60%, ενώ για την καρστική υδροφορία και τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, είναι 50% και 87,8%, αντίστοιχα. Βασική πηγή προέλευσης του καδμίου αποτελούν οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί και τα αργιλικά ορυκτά.



**Σχήμα 7.35:** Η διακύμανση του καδμίου (Cd) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που ξεπερνούν το όριο των 0,005 mg/l.

Η συγκέντρωση του καδμίου στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων κυμαίνεται από 0 mg/l έως 0,02 mg/l. Η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,01 mg/l. Στην καρστική υδροφορία, η συγκέντρωση κυμαίνεται από 0 mg/l έως 0,05 mg/l και η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,02 mg/l (Παρ-Πίνακας 9). Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων η συγκέντρωση καδμίου, κυμαίνεται, από 0 mg/l έως 0,14 mg/l και η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,02 mg/l (Παρ-Πίνακας 9). Γενικά, στον χάρτη κατανομής του καδμίου (Εικ. 7.31), παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής (Δ4, Δ6, Δ22, Δ23).

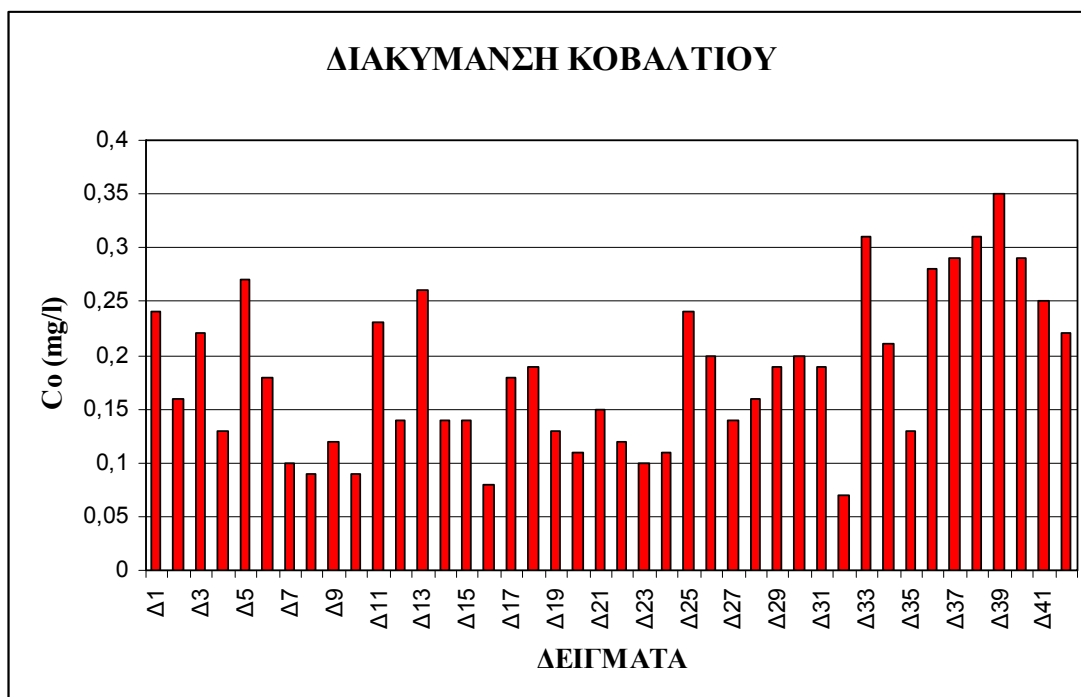


**Εικόνα 7.31:** Χάρτης χωρικής κατανομής του καδμίου (Cd), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.



### 7.8.8 Κοβάλτιο (Co).

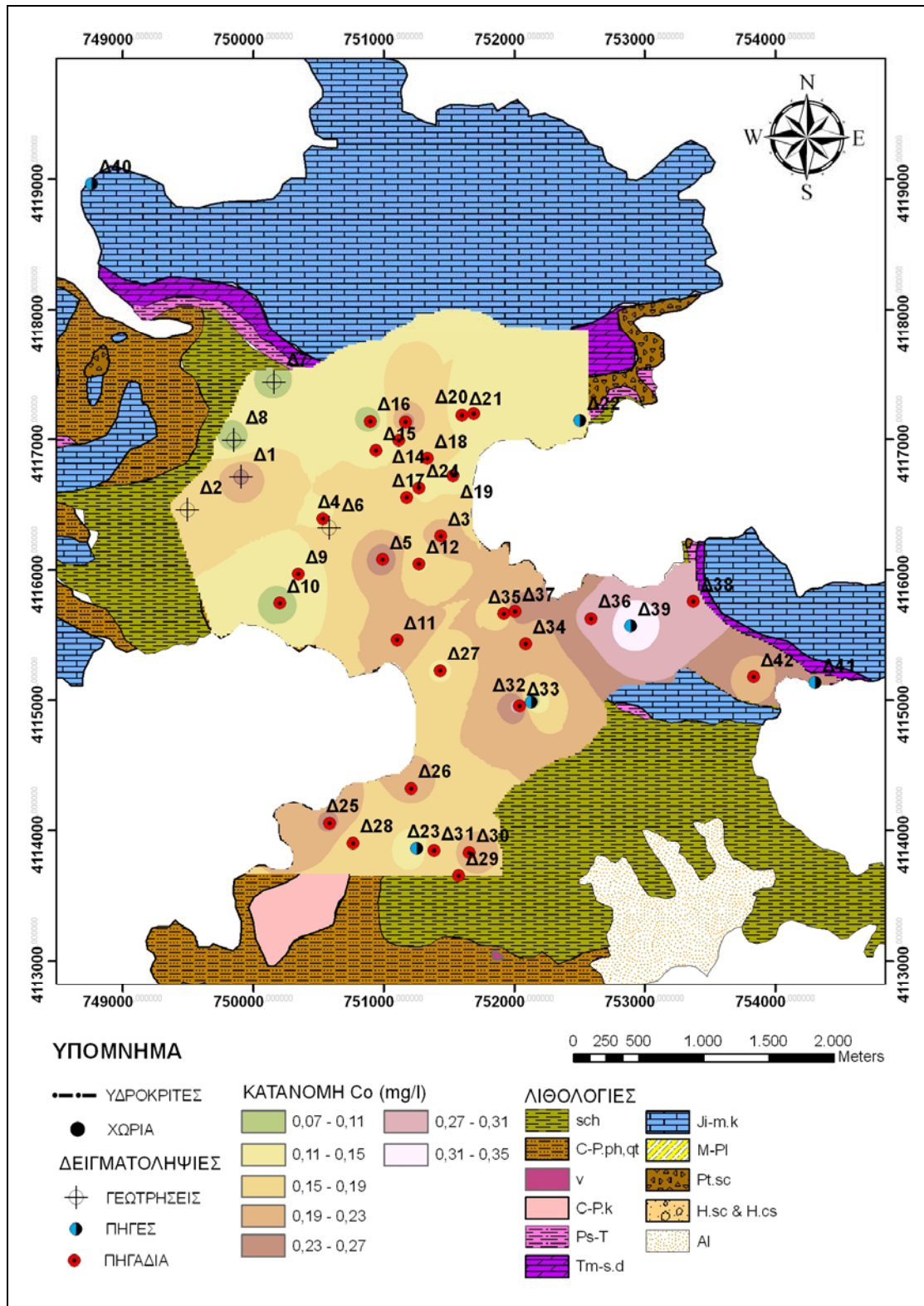
Το κοβάλτιο συγκαταλέγεται απ' την Ευρωπαϊκή Ένωση στις ανεπιθύμητες ουσίες με μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση για το νερό άρδευσης (δεν δίνονται ανώτατα επιτρεπτά όρια από την Ε.Ε για το πόσιμο νερό) τα 0,05 mg/l. Συνεπώς, με αυτό το δεδομένο, το ποσοστό υπέρβασης για το πόσιμο νερό, σε όλες τις λιθολογίες, είναι 100% (Σχ. 7.36).



**Σχήμα 7.36:** Η διακύμανση του κοβαλτίου (Co) στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υπόγεια νερά, που ξεπερνούν το όριο των 0,05 mg/l (για το αρδευτικό νερό).

Η συγκέντρωση του κοβαλτίου στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων κυμαίνεται από 0,13 mg/l έως 0,24 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,19 mg/l. Στην καρστική υδροφορία κυμαίνεται από 0,12 mg/l έως 0,35 mg/l και εμφανίζει μια μέση τιμή 0,25 mg/l. Στα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων, η συγκέντρωση του κοβαλτίου κυμαίνεται από 0,07 mg/l έως 0,31 mg/l. Η μέση τιμή ανέρχεται στα 0,17 mg/l (Παρ-Πίνακας 9).

Στον χάρτη κατανομής του κοβαλτίου (Εικ. 7.32) παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις περιοχές Αγ. Μαρίνα, Κριθώνι, Δρυμόνα και Γούρνα, ενώ χαμηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται σε περιορισμένα σημεία (Δ8, Δ7, Δ9, Δ10, Δ22, Δ23).



Εικόνα 7.32: Χάρτης χωρικής κατανομής του κοβάλτιου (Co), στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

## 7.9 Υδροχημική ταξινόμηση.

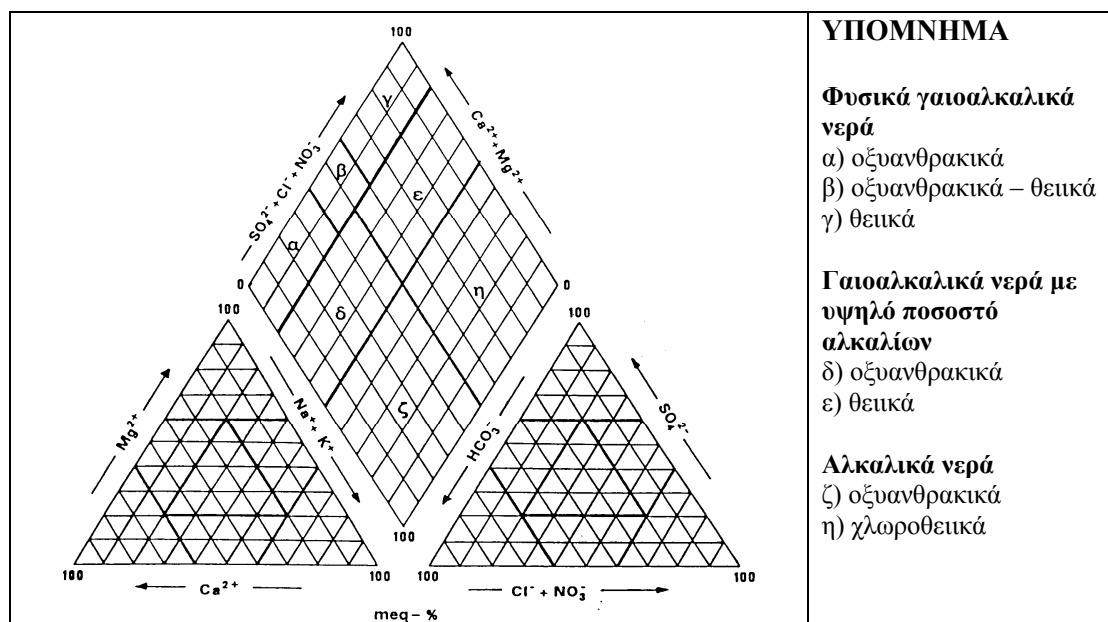
### 7.9.1 Ταξινόμηση των υπόγειων νερών κατά Piper.

Το διάγραμμα του Piper (1944) είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην ομαδοποίηση πληροφοριών, που προέρχονται από χημικές αναλύσεις (Σχ. 7.37). Η ομαδοποίηση στοχεύει στην κριτική μελέτη των διαφόρων πηγών προέλευσης των διαλυμένων συστατικών στα υπόγεια νερά και την μεταβολή του χαρακτήρα του νερού, καθώς αυτό κινείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ειδικότερα, στο διάγραμμα Piper απεικονίζονται οι περιεκτικότητες στα κατιόντα και στα ανιόντα εκφρασμένα επί τοις % των αντίστοιχων συνολικών ποσοτήτων. Αυτά απεικονίζονται στα αντίστοιχα τρίγωνα σαν σημεία. Τα δύο σημεία, που παίρνονται απ' τα δύο τρίγωνα προβάλλονται στον ρόμβο, παράλληλα προς τις δυο πάνω πλευρές του. Το σημείο, που προκύπτει αντιστοιχεί σ' ένα τύπο νερού.

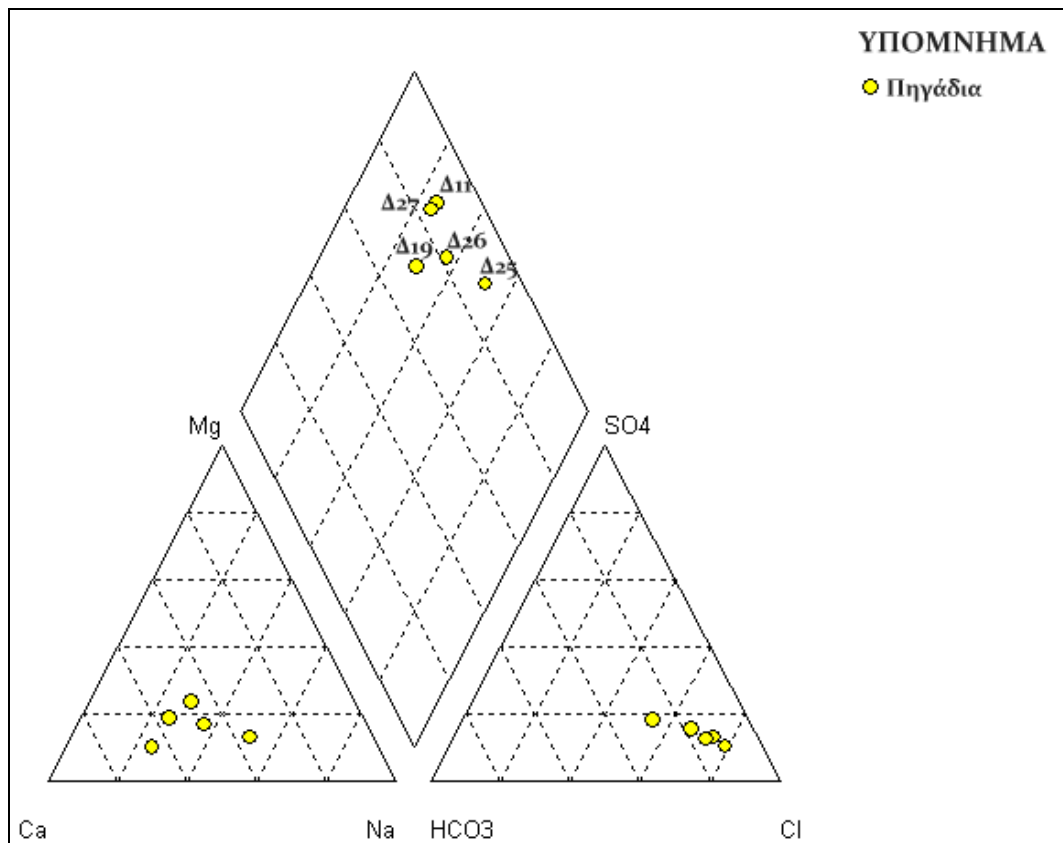
Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της άμεσης αναγνώρισης των ομοιοτήτων και των διαφορών, που παρουσιάζουν διάφορα δείγματα νερού. Έχουν όμως το μειονέκτημα, όπως και τα άλλα εξάλλου διαγράμματα, στα οποία η περιεκτικότητα των στοιχείων εκφράζεται επί τοις %, να μην απεικονίζουν πολύ μικρές συγκεντρώσεις ιόντων, όταν υπάρχουν (Λαμπράκης, 2005).

Το διάγραμμα Piper χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος.



Σχήμα 7.37: Διάγραμμα Piper και ο πίνακας με τις κατηγορίες των διαφόρων τύπων νερού.

Σύμφωνα με τις ποσοστιαίες αναλογίες των περιεκτικότητων, που προσδιορίστηκαν για τα κύρια κατιόντα ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) και ανιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ), επί των αντίστοιχων συνολικών ποσοτήτων, μέσω του λογισμικού Aquachem και την προβολή τους σ' ένα διάγραμμα Piper, σχηματίζεται το παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 7.38) για τα δείγματα υπόγειου νερού των αλλουβιακών αποθέσεων.



**Σχήμα 7.38:** Διάγραμμα Piper για τα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων.

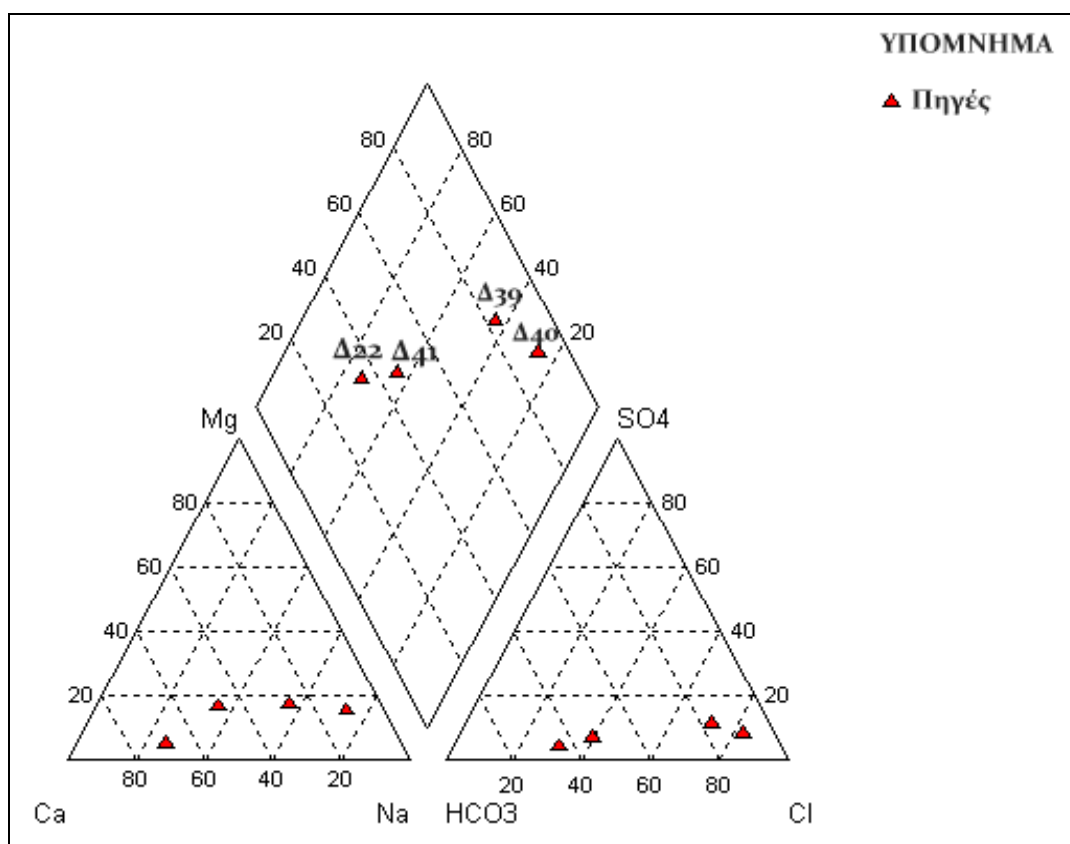
**Πίνακας 7.2:** Οι υδροχημικοί τύποι των αλλουβιακών αποθέσεων και η ταξινόμησή τους, κατά Piper. Όπου (ε): η κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα η ομάδα των θεικών, ενώ (η), η κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα η ομάδα των χλωριθθεικών.

Δείγμα	Υδροχημικός τύπος	Ταξινόμηση κατά Piper
Δ11	Ca-Na-Cl	ε
Δ19	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	ε
Δ25	Na-Ca-Cl	η
Δ26	Ca-Na-Cl	ε
Δ27	Ca-Na-Cl	ε

Συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των δειγμάτων ανήκει στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και ειδικότερα στην ομάδα των θεικών (Δ11, Δ19, Δ27, Δ26). Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα (Δ25), το οποίο ανήκει στην κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα στην ομάδα των χλωροθεικών (Πίνακας 7.2). Αυτή η διαφορά οφείλεται στην αυξημένη εκατοστιαία αναλογία του χλωρίου, λόγω της κοντινής απόστασης του πηγαδιού Δ25 από την παράκτια ζώνη, όπου η προσφορά του χλωρίου είναι πιο άμεση στον συγκεκριμένο παράκτιο υδροφόρο.

Τα υπόγεια νερά των ανθρακικών πετρωμάτων (καρστική υδροφορία), χαρακτηρίζονται από νερά δύο υδροχημικών κατηγοριών, σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Σχ. 7.39), οι οποίες εξαρτώνται από δύο παραμέτρους: α) από την θέση της πηγής, δηλαδή αν είναι παράκτια ή ενδοχωρική, αλλά και αν βρίσκεται σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή ή όχι και β) από το επίπεδο βάσης του καρστικού υδροσυστήματος.

Συγκεκριμένα, οι καρστικές πηγές Παναγίες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8-Δ41) ανήκουν στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα στην ομάδα των οξυανθρακικών νερών, ενώ οι πηγές Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39) και Ρήνα (Π1-Δ40) ανήκουν στην ομάδα των αλκαλικών νερών και ειδικότερα στην ομάδα των χλωριοθεικών.



Σχήμα 7.39: Διάγραμμα Piper για την καρστική υδροφορία (Ji-m.k).

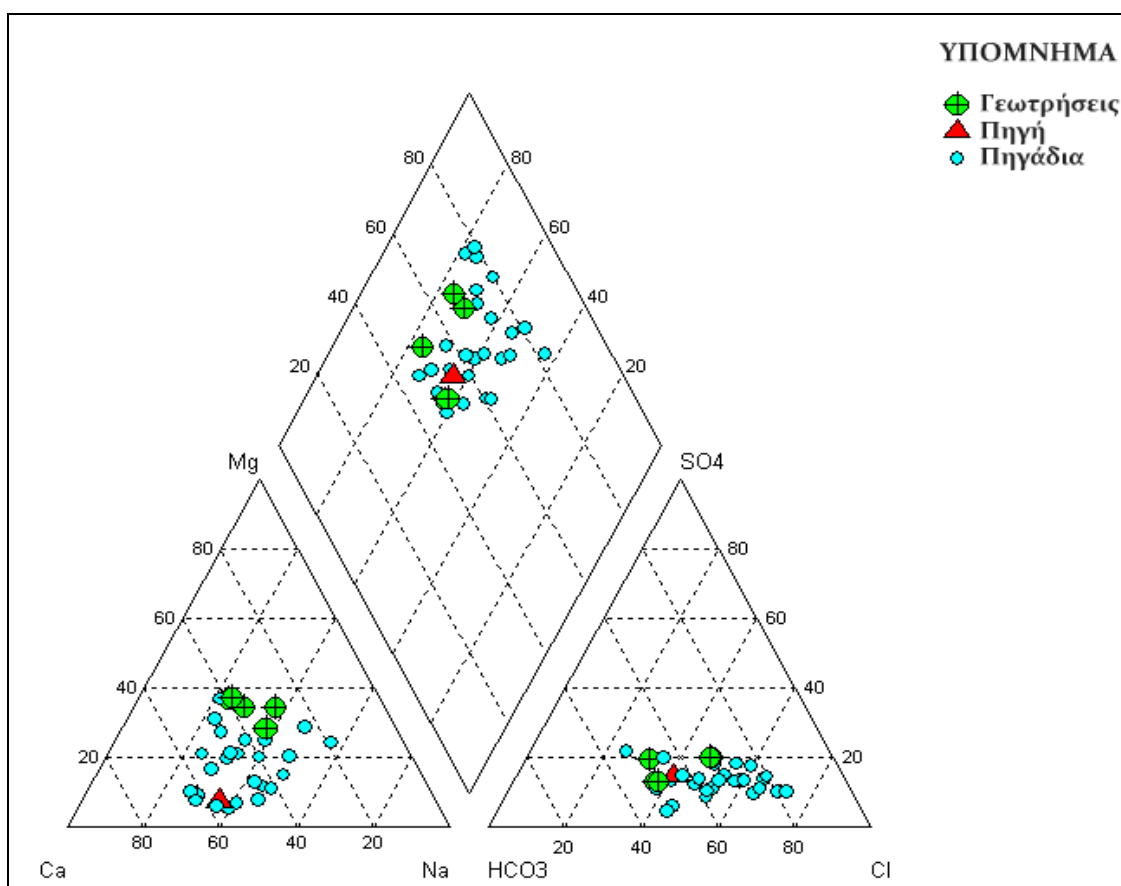
**Πίνακας 7.3:** Οι υδροχημικοί τύποι της καρστικής υδροφορίας και η ταξινόμησή τους, κατά Piper. Όπου (η), η κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα η ομάδα των χλωριοθεικών και (δ), η κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα η ομάδα των οξυανθρακικών νερών

Δείγμα	Υδροχημικός τύπος	Ταξινόμηση κατά Piper
Δ22	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	δ
Δ39	Na-Ca-Cl	η
Δ40	Na-Cl	η
Δ41	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	δ

Τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, σύμφωνα με παρακάτω διάγραμμα Piper (Σχ.7.40). Αυτές είναι:

α) η κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα, η ομάδα των οξυανθρακικών ή των θεικών και

β) η κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα η ομάδα των χλωριοθεικών (Πίνακας 7.4).



**Σχήμα 7.40:** Διάγραμμα Piper για τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (sch & C-P,ph.qt).

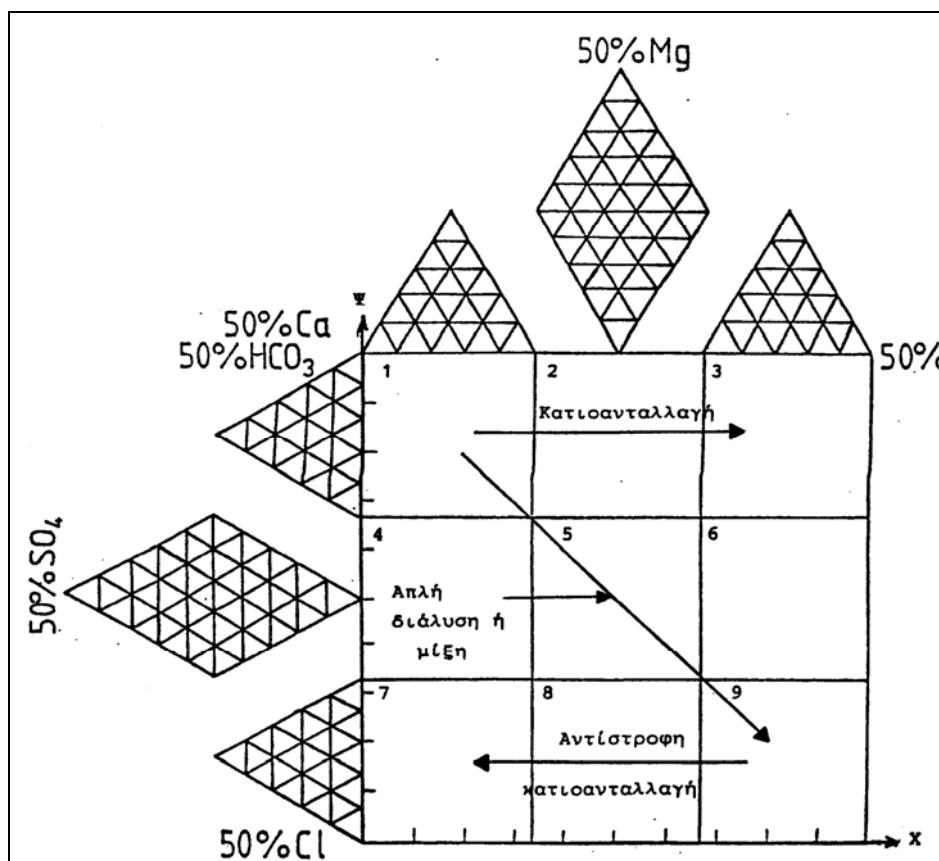
**Πίνακας 7.4:** Οι υδροχημικοί τύποι των υπόγειων νερών των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων (sch&C-P.ph,qf) και η ταξινόμηση κατά Piper. Όπου (ε): η κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα η ομάδα των θεικών, (η) η κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα η ομάδα των χλωριθεικών και (δ), η κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα η ομάδα των οξυανρακικών νερών.

Δείγμα	Υδροχημικός τύπος	Ταξινόμηση κατά Piper
Δ1	δ	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ2	δ	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ3	η	Na-Mg-Ca-Cl
Δ4	ε	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ5	ε	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ6	ε	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ7	ε	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> Cl
Δ8	ε	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ9	ε	Ca-Mg-Na-Cl
Δ10	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ12	ε	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ13	δ	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ14	ε	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ15	ε	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ16	ε	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ17	ε	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ18	ε	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ20	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ21	η	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ24	ε	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ28	δ	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ29	δ	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ30	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ31	ε	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ32	ε	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ33	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ34	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ35	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ36	ε	Ca-Na-Mg-Cl
Δ37	ε	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ38	η	Na-Mg-Cl
Δ42	ε	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>

### 7.9.2 Ταξινόμηση των υπόγειων νερών με το διευρυμένο διάγραμμα Durov.

Το διευρυμένο διάγραμμα Durov (Σχ. 7.41) χρησιμοποιείται για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων κατιοανταλλαγής και των μετασωματικών γραμμών εξέλιξης. Τα βέλη στο σχήμα 7.41 δείχνουν τις πιο συνηθισμένες μετασωματικές πορείες των υπόγειων νερών, πριν αυτά τερματίσουν στη θάλασσα ή κινηθούν, προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες (Lloyd,

Heathcote, 1985). Συγκεκριμένα, οι ομάδες 1-3 συνδέονται με διαδικασίες ανταλλαγής κατιόντων, οι ομάδες 4-6 σχετίζονται με τα νερά μίξης (ακόρεστα και επηρεασμένα από την θάλασσα) και τέλος οι ομάδες 7-9 αντιστοιχούν σε διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.



**Σχήμα 7.41:** Το διευρυμένο διάγραμμα Durov. Τα βέλη στο σχήμα απεικονίζουν τις πιο συνηθισμένες μετασωματικές πορείες των υπόγειων νερών πριν αυτά τερματίσουν στη θάλασσα ή κινηθούν προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες.

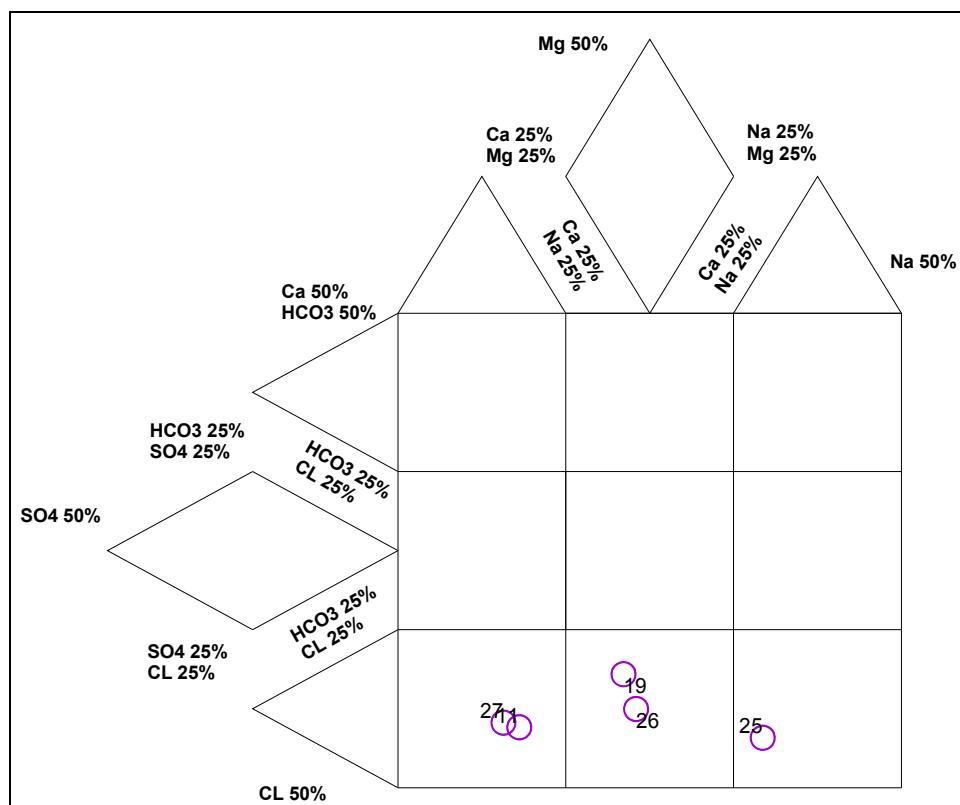
Στο διάγραμμα αυτό, όπως αναλυτικά περιγράφεται από τους Lloyd και Heathcote (1985), διακρίνονται εννέα (9) πεδία (Σχ. 7.41):

1. Κυριαρχούν τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) και τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Αυτά αφορούν φρέσκα νερά, φυσικής αναπλήρωσης, που κατεισδύουν διαμέσου ασβεστόλιθων, ψαμμιτών, αλλά και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων.
2. Κυριαρχεί η όξινη ανθρακική ρίζα ( $\text{HCO}_3^-$ ) και είτε κυριαρχούν τα ιόντα μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ), είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά, που έχουν σχέση με δολομίτες. Επίσης, αν το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) αρχίζει να αυξάνεται, τότε αυτό φανερώνει την ενεργοποίηση του μηχανισμού της ιοντοανταλλαγής.



- 3.Κυριαρχούν τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) και τα ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- 4.Κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και είτε τα θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), είτε κανένα ανιόν. Στην περίπτωση εκείνη, που κυριαρχούν τόσο τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) όσο και τα θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) έχουμε νερά, που προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου ηφαιστειακών λαβών και γύψων. Διαφορετικά αυτό ερμηνεύεται απλά σαν ένα μικτό ή διαλυτοποίησης, νερό .
- 5.Κανένα κυρίαρχο ιόν. Πρόκειται για μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.
- 6.Κυριαρχεί το  $\text{Na}^+$  και είτε κυριαρχεί τα  $\text{SO}_4^{2-}$  είτε κανένα ανιόν. Πρόκειται για υπόγειο νερό, που δεν συναντάται πολύ συχνά και είναι τις περισσότερες φορές προϊόν μείξης.
- 7.Κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και τα ιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ). Σπάνιο υπόγειο νερό, εκτός και αν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na-Cl.
- 8.Κυριαρχούν τα ιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ), χωρίς να κυριαρχεί κανένα κατιόν. Υπόγεια νερά, που το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- 9.Κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και τα ιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ). Τελικά νερά πεδίου ροής.

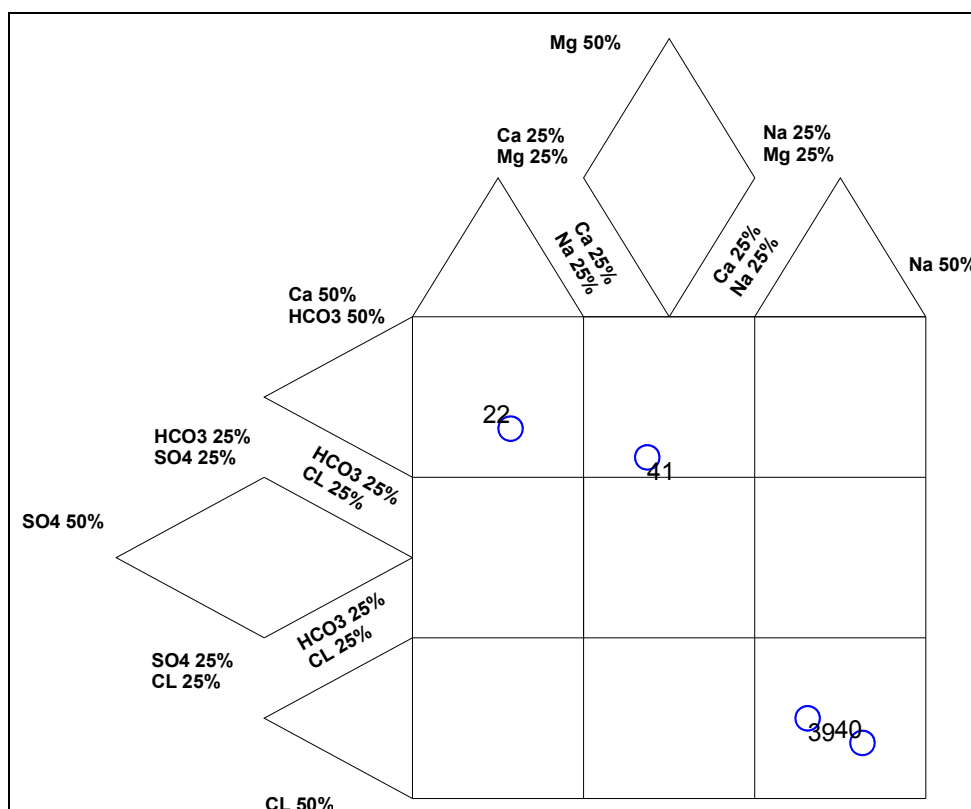
Τα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων τοποθετούνται στα πεδία 7, 8 και 9, όπου κυριαρχούν οι διαδικασίες της αντίστροφης κατιοανταλλαγής (Σχ. 7.42). Εμφανίζονται οι ακόλουθοι υδροχημικοί τύποι: Ca-Cl, Mg-Cl και Na-Cl.



**Σχήμα 7.42:** Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των αλλουβιακών αποθέσεων.

- ✚ Στην πρώτη ομάδα (Ca-Cl) ανήκουν τα δείγματα 27 και 11, όπου κυριαρχούν τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Cl}^-$  και έχουν προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής απ' νερά Na-Cl. Αυτά τα υπόγεια νερά μπορούν να θεωρηθούν το περιθώριο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού για τις αλλουβιακές αποθέσεις, αφού το  $\text{Na}^+$  μειώνεται καθώς αυξάνεται το  $\text{Ca}^{2+}$  (Christos Petalas et al, 2007).
- ✚ Στην δεύτερη ομάδα (Mg-Cl) ανήκουν τα δείγματα 19 και 26 τοποθετούνται στο πεδίο 8, όπου κυριαρχούν τα ιόντα Mg και  $\text{Cl}^-$ . Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- ✚ Στην τρίτη ομάδα (Na-Cl) ανήκει το δείγμα 25, όπου κυριαρχούν τα ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , δηλαδή, αντιπροσωπεύει ένα τελικό υπόγειο νερό, πεδίου ροής.

Η καρστική υδροφορία στην περιοχή μελέτης αντιπροσωπεύεται από τις καρστικές πηγές Παναγίες (Π5-Δ22), Συκίδια (Π8-Δ41), Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39) και Ρήνα (Π1-Δ40), οι οποίες προβάλλονται στο παρακάτω διάγραμμα Durov. Εμφανίζονται οι ακόλουθοι υδροχημικοί τύποι:  $\text{Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Mg-HCO}_3$  και Na-Cl.



**Σχήμα 7.43:** Ταξινόμηση των υπόγειων καρστικών νερών.

Οι πηγές προβάλλονται στα πεδία 1, 2 και 9 (Σχ. 7.43).

- ✚ Στην πρώτη ομάδα (Ca-HCO<sub>3</sub>) ανήκει η πηγή Παναγίες (Π5-Δ22), όπου κυριαρχούν τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και τα ιόντα ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>). Φανερώνουν φρέσκα νερά εμπλουτισμού.
- ✚ Στην δεύτερη ομάδα (Mg-HCO<sub>3</sub>) ανήκει η πηγή Συκίδια (Π8-Δ41), όπου κυριαρχούν τα ιόντα του μαγνησίου (Mg<sup>2+</sup>) και τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Τα νερά της ομάδας αυτής έχουν εμπλουτισθεί σε ιόντα μαγνησίου που προέρχονται προφανώς από την διάλυση δολομίτη.
- ✚ Στην τρίτη ομάδα (Na-Cl) ανήκουν οι πηγές Αγ. Αντώνιος και Ρήνα, όπου κυριαρχούν τα ιόντα Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> και θεωρούνται τελικά νερά πεδίου ροής. Αυτός ο χαρακτηρισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πηγή Ρήνα, αφού είναι μια παράκτια καρστική πηγή, η οποία έχει μολυνθεί απ' την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Η ενδοχωρική καρστική πηγή του Αγ. Αντωνίου είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση. Δεν μπορεί να εξηγηθεί εύκολα η μεγάλη συγκέντρωση του Cl<sup>-</sup>, αφού βρίσκεται σε ένα υψόμετρο 40m και είναι αδύνατον να έχει υφαλμυρωθεί απ' την θάλασσα. Πιθανόν, η μόλυνση να οφείλεται σε κάποια τοπική μόλυνση ή απ' την άντληση θαλασσινού νερού από κάποια γειτονική γεώτρηση.

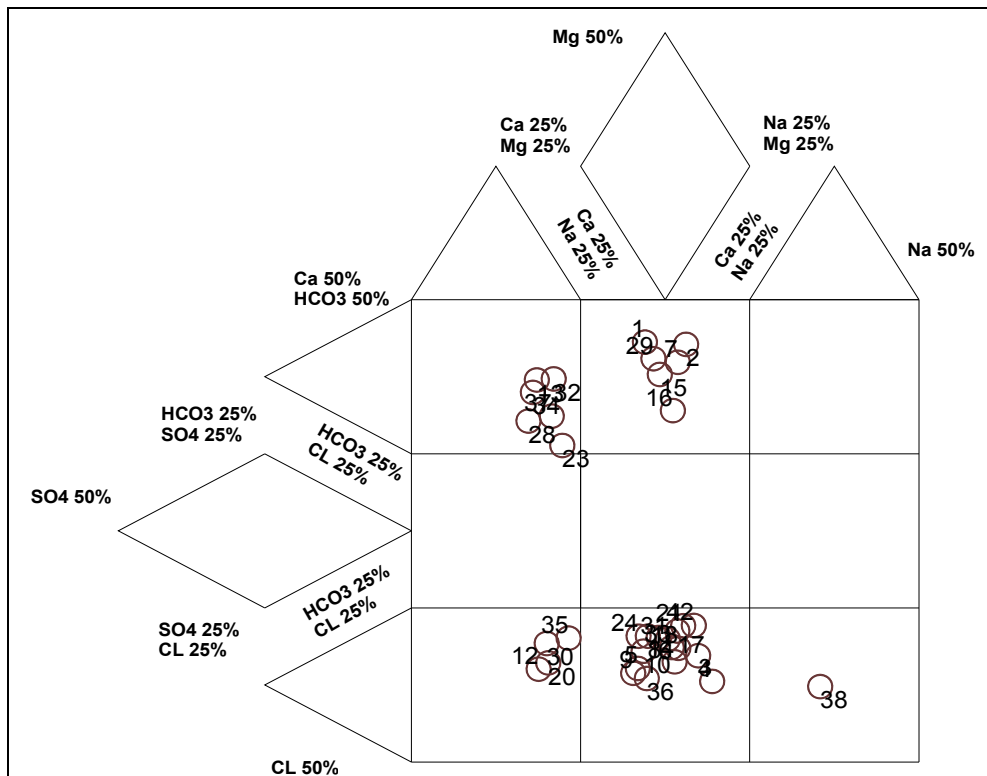
Τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, ταξινομούνται σε τέσσερα πεδία του διαγράμματος και φανερώνουν φαινόμενα κατιοανταλλαγής και αντίστροφης κατιοανταλλαγής (Σχ. 7.44). Εμφανίζονται οι ακόλουθοι υδροχημικοί τύποι:

Ca-HCO<sub>3</sub>, Mg-HCO<sub>3</sub> Ca-Cl, Mg-Cl και Na-Cl.

- ✚ Στην πρώτη ομάδα (Ca-HCO<sub>3</sub>) ανήκουν τα υπόγεια νερά (13, 32, 37, 34, 28, 23), τα οποία χαρακτηρίζονται φρέσκα νερά και κυριαρχούν τα ιόντα Ca<sup>2+</sup> και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Αυτή η ομάδα μας δείχνει ότι, σ' εκείνα τα σημεία δειγματοληψίας, εμφανίζονται τα κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα (C-P.k).
- ✚ Στην δεύτερη ομάδα (Mg-HCO<sub>3</sub>), ανήκουν τα υπόγεια νερά (1, 2, 7, 29, 15, 16), τα οποία χαρακτηρίζονται από την αυξημένη συγκέντρωση των ιόντων Mg και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Αυτή η αυξημένη συγκέντρωση των οξυανθρακικών ιόντων, οφείλεται πιθανόν στη διάλυση των δολομιτικών ασβεστόλιθων.
- ✚ Στην τρίτη ομάδα (Ca-Cl) ανήκουν τα υπόγεια νερά (12, 35, 30, 20), όπου κυριαρχούν τα ιόντα Ca<sup>2+</sup> και Cl<sup>-</sup> και έχουν προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na-Cl. Αυτά τα υπόγεια νερά μπορούν να θεωρηθούν το περιθώριο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, αφού το Na<sup>+</sup> μειώνεται, καθώς αυξάνεται το Ca<sup>2+</sup> (Christos Petalas et al, 2007).
- ✚ Στην τέταρτη ομάδα (Mg-Cl) ανήκουν τα υπόγεια νερά (3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 17, 18, 21, 24, 31, 33, 36, 42), στα οποία κυριαρχεί το Cl<sup>-</sup>, χωρίς να κυριαρχεί κανένα άλλο

κατιόν. Επίσης μας δείχνει ότι το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη σ' αυτά τα υπόγεια νερά.

- ✚ Στην πέμπτη ομάδα (Na-Cl) που ανήκει το δείγμα 38, όπου κυριαρχούν τα ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  και αντιπροσωπεύει ένα τελικό νερό πεδίου ροής.



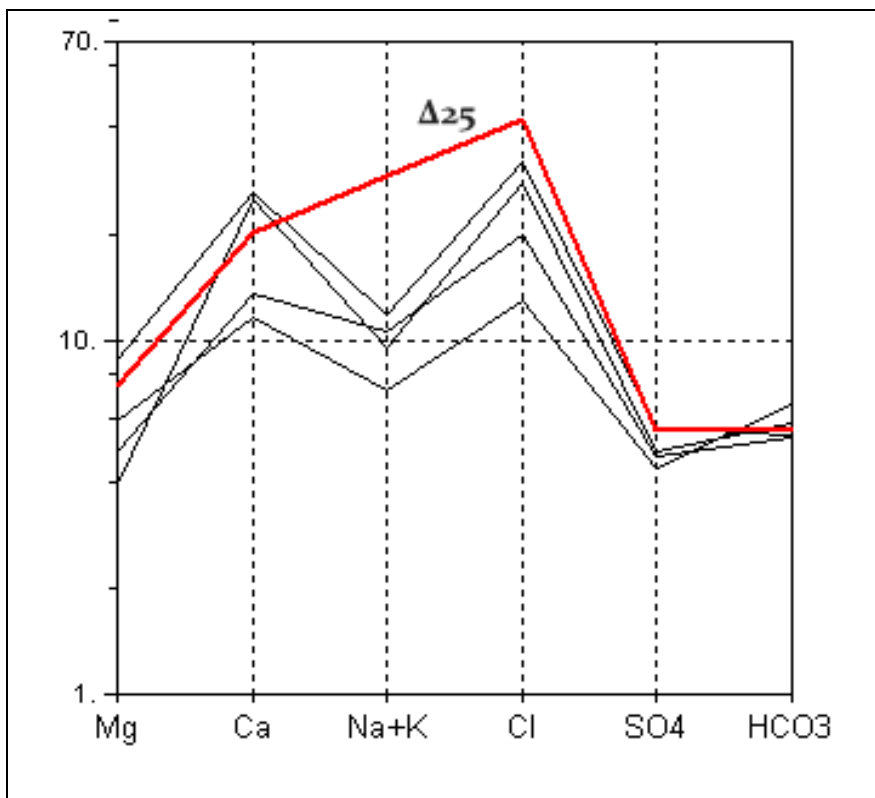
**Σχήμα 7.44:** Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων.

### 7.9.3 Ταξινόμηση κατά Schoeller

Ο Schoeller (1955) πρότεινε μια μεθοδολογία, για την ταξινόμηση των υπόγειων νερών, που συνίσταται στην διάκριση τους με βάση την περιεκτικότητα σε χλώριο, σε θειικά, σε όξινα ανθρακικά και ανθρακικά ιόντα, την ένδειξη ιονταλλαγής και την σπουδαιότητα των ανιόντων και των κατιόντων. Όμως, η πιο συνηθισμένη ταξινόμηση γίνεται με την χρήση της σπουδαιότητας των ανιόντων και των κατιόντων, λόγω της απλότητας της και των άμεσων αποτελεσμάτων της (Λαμπράκης, 2005), αφού το ανιόν καθορίζει την γεωχημική ομάδα. Έτσι λοιπόν, τα νερά ταξινομούνται, με βάση την φθίνουσα περιεκτικότητα, σε ανιόντα και κατιόντα, ως εξής :

- Ανθρακικά:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$  &  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ .
- Χλωριούχα:  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^-$  &  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ .

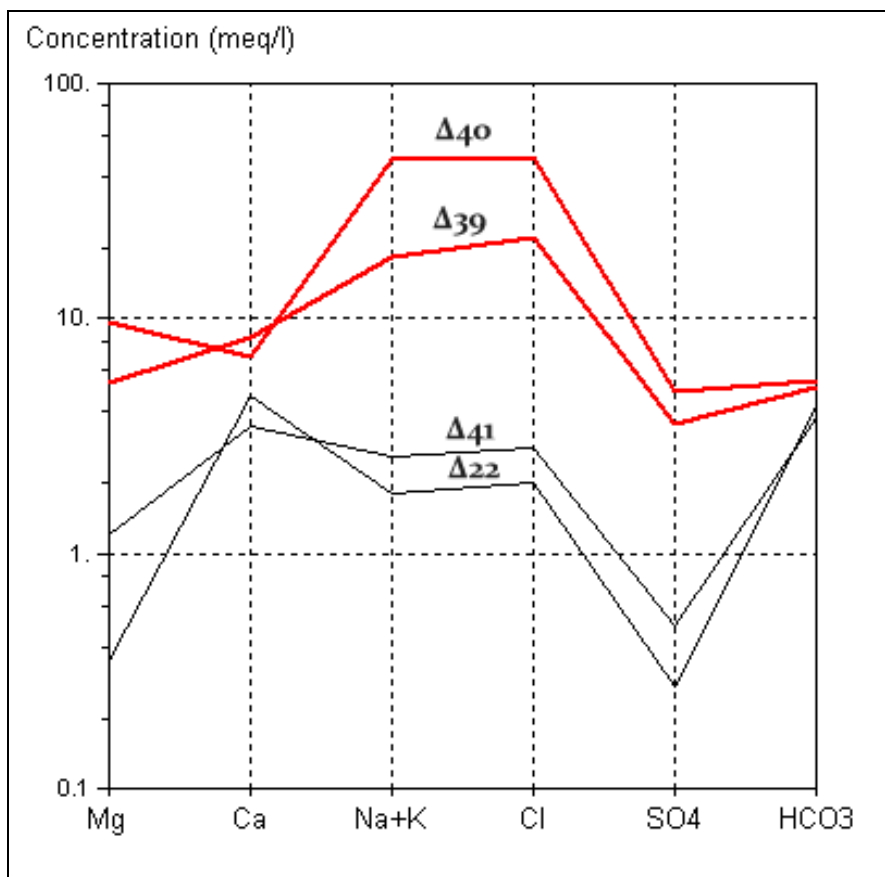
Στις αλλουβιακές αποθέσεις, τα υπόγεια νερά ανήκουν στην κατηγορία των χλωριούχων, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης σε ανιόντα χλωρίου, σε σχέση με τα υπόλοιπα ανιόντα. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα Schoeller (Σχ. 7.45), με την διαφορά ότι το δείγμα Δ25 έχει αυξημένη συγκέντρωση νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα νερού. Το γεγονός αυτό, συμβαίνει λόγω της άμεσης διείσδυσης του θαλασσινού νερού και της υφαλμύρωσης του πηγαδιού, αφού βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από την θάλασσα.



**Σχήμα 7.45:** Διάγραμμα Schoeller για τα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων (α1). Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται το δείγμα Δ25.

Η καρστική υδροφορία, η οποία αντιπροσωπεύεται από τις πηγές (Δ22, Δ39, Δ40, Δ41), χαρακτηρίζεται και από τους δύο τύπους νερού. Οι πηγές Παναγίες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8 - Δ41) ανήκουν στα ανθρακικά νερά, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών ιόντων σε σχέση με τα ανιόντα χλωρίου, ενώ οι πηγές Αγ. Αντώνιος (Π3-Δ39) και Ρήνα (Π1 - Δ40) ανήκουν στα χλωριούχα νερά, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου, η οποία προέρχεται από την μόλυνση εξαιτίας ανθρωπογενών παραγόντων και εξαιτίας της διείσδυσης της θάλασσας, αντίστοιχα.

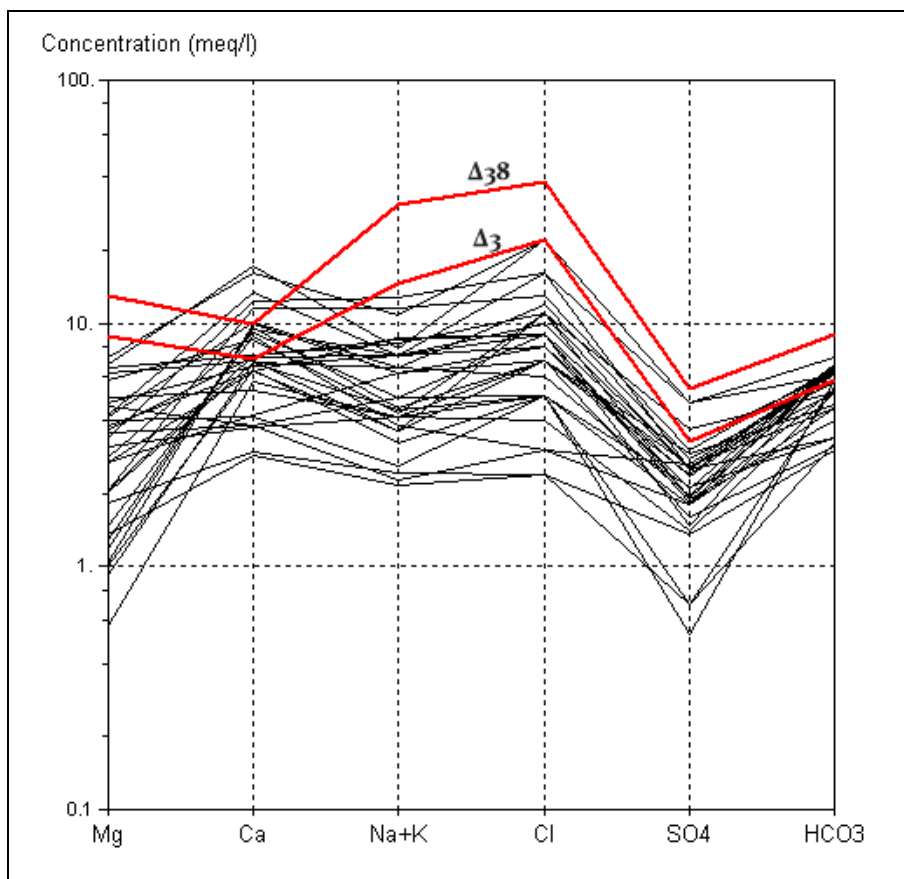
Στο παρακάτω διάγραμμα Schoeller (Σχ. 7.46) εμφανίζονται χαρακτηριστικά και οι δύο ομάδες καρστικών νερών.



**Σχήμα 7.46:** Διάγραμμα Schoeller για την καρστική υδροφορία. Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται η ομάδα των χλωριούχων νερών, ενώ με μαύρο χρώμα συμβολίζονται η ομάδα των ανθρακικών νερών.

Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, ο διαχωρισμός των υπόγειων νερών, σε χλωριούχα και ανθρακούχα, δεν είναι τόσο εύκολος, να διαπιστωθεί, από το παρακάτω διάγραμμα Schoeller (Σχ. 7.47). Αυτό που παρατηρείται, όμως, είναι ότι κάποια δείγματα νερού έχουν υψηλή συγκέντρωση νατρίου  $\text{Na}^+$  (Δ38 και Δ3), λόγω της υφαλμύρωσης απ' την διείσδυση της θάλασσας. Πρόκειται για πηγάδια τα οποία έχουν ένα βάθος σχεδόν στο επίπεδο της θάλασσας, αλλά βρίσκονται και κοντά στις αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες φιλοξενούν υφάλμυρα νερά.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.5) παρουσιάζεται ο διαχωρισμός των δειγμάτων νερού των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων σε χλωριούχα και ανθρακικά, στα οποία, αν τα αξιολογήσουμε με βάση το απόλυτο υψόμετρο και το βάθος του σημείου δειγματοληψίας, παρατηρούμε ότι τα σημεία δειγματοληψίας, τα οποία βρίσκονται στα υψηλότερα σημεία των λεκανών απορροής, έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση οξυανθρακικών ιόντων απ' τα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας, τα οποία βρίσκονται χαμηλότερα.



**Σχήμα 7.47:** Διάγραμμα Schoeller για τα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων (sch&C-P, ρh.qt). Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται τα δείγματα Δ38 και Δ3.

Αυτό συμβαίνει γιατί στα χαμηλά τοπογραφικά υψόμετρα είναι εύκολη η διείσδυση της θάλασσας, άρα και ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού σε χλώριο και νάτριο. Στα μεγαλύτερα όμως υψόμετρα, το νερό ανανεώνεται εύκολα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (υγρή περίοδο) ή από τα τελευταία στραγγίσματα. Επίσης, παρατηρούνται και κάποιες εξαιρέσεις, όπως τα δείγματα Δ34, Δ35 και Δ30, τα οποία έχουν, πιθανόν μολυνθεί από απορροφητικούς βόθρους ή/και άλλη πηγή μόλυνσης.

**Πίνακας 7.5:** Διαχωρισμός των υπόγειων νερών των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων σε χλωριούχα και ανθρακικά.

Χλωριούχα	Ανθρακικά
Δ10, Δ12, Δ14, Δ16, Δ17, Δ18, Δ20, Δ21, Δ24, Δ3, Δ30, Δ33, Δ34, Δ35, Δ36, Δ37, Δ38, Δ4, Δ42, Δ5, Δ6, Δ8, Δ9.	Δ1, Δ2, Δ13, Δ15, Δ23, Δ28, Δ29, Δ31, Δ32, Δ7.

#### 7.9.4 Προέλευση των στοιχείων - Ιοντικές σχέσεις.

Μεγάλη βοήθεια, στην αναγνώριση της προέλευσης των νερών, δίνουν οι ιοντικές σχέσεις (Mandel - Shiftan, 1981). Αυτοί σχετίζονται με τα πετρώματα, μέσα στα οποία φιλοξενείται το νερό ή μέσα απ' τα οποία πέρασε, είτε με τον βαθμό ανανέωσης του ή με την ανάμιξη του με θαλασσινό νερό. Έτσι λοιπόν, η ιοντική ισορροπία εκφράζει συμπεράσματα, όσον αφορά την πορεία του υπόγειου νερού, τον χρόνο παραμονής του και κυρίως την ανάμιξη του, ιδίως με την θάλασσα (Σούλιος, 2006).

Οι κύριοι ιοντικοί λόγοι είναι  $Mg/Ca$ ,  $Na/Cl$ ,  $Na/K$ ,  $Cl/SO_4$ ,  $Cl/Br$ ,  $(Ca+Mg)/(Na+K)$  και ο συντελεστής Revelle  $Cl/(HCO_3+CO_3)$ , που για την χρήση τους, χρησιμοποιούνται οι συγκεντρώσεις των ιόντων σε μονάδες meq/l. Στα δείγματα της περιοχής ενδιαφέροντος εφαρμόστηκαν, οι λόγοι, που σχετίζονται με την υφαλμύρωση, σύμφωνα με την παρακάτω ταξινόμηση:

**Ο ιοντικός λόγος  $Na/Cl$**  σχετίζεται με την υφαλμύρωση και γενικά την διείδυση του θαλασσινού νερού ή με υδροφόρα στρώματα, μέσα στα οποία υπήρξαν υπολείμματα θαλάσσιων αλάτων. Έτσι, ανάλογα με τις τιμές του λόγου αυτού έχουμε:

- α)  $Na/Cl=0,879 \pm 10\%$  κανονικό υπόγειο νερό,
- β)  $Na/Cl>1$  νερό από αλκαλικά πυριγενή πετρώματα ή μεταμορφωμένα και
- γ)  $Na/Cl< 0.879 \pm 10\%$  σημαίνει υφαλμύρωση υδροφορέα (διείσδυση θαλασσινού νερού ή υπολείμματα αλμυρών κ.τ.λ) (Σούλιος, 2006).

**Ο ιοντικός λόγος  $Cl/SO_4$**  έχει σχέση με την υφαλμύρωση και την ύπαρξη υπολειμματικών αλάτων στους υδροφόρους. Έτσι ανάλογα με τις τιμές του λόγου αυτού έχουμε:

- α)  $Cl/SO_4 = 10$  θαλασσινό νερό,
- β)  $Cl/SO_4 >5$  νερό χλωριούχο,
- γ)  $Cl/SO_4 = 1-5$  νερό χλωροθειούχο,
- δ)  $Cl/SO_4 = 0,2-1$  νερό θειούχο-χλωριούχο και
- ε)  $Cl/SO_4 <0,2$  νερό θειούχο.

##### 7.9.4.1 Ιοντικός λόγος $Na/Cl$ .

Στις αλλουβιακές αποθέσεις, ο λόγος  $Na/Cl$  έχει τιμές, που κυμαίνονται από 0,337 έως 0,690, οι οποίες υποδηλώνουν την διείδυση της θάλασσας, αφού οι τιμές κυμαίνονται κάτω από την τιμή  $0,876 \pm 10\%$ , που αντιπροσωπεύει το θαλασσινό νερό (Βουδούρης, 2009).

Στην καρστική υδροφορία, ο λόγος  $Na/Cl$  έχει τιμές, που κυμαίνεται από 0,79 έως 0,961. Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι οι καρστικές πηγές εκφορτίζουν ένα κανονικό υπόγειο νερό, εκτός από την πηγή Αγ. Αντωνίου, που εμφανίζει μια τιμή 0,79 και δηλώνει την υφαλμύρωση της. Αυτό, όμως, δεν είναι λογικό να συμβαίνει, αφού η πηγή του Αγ. Αντωνίου βρίσκεται σ' ένα



ύψος 39m, άρα πιθανόν η μεγάλη συγκέντρωση χλωρίου να προέρχεται από κάποια τοπική μόλυνση. Επίσης, η παράκτια πηγή Ρήνα έχει μια τιμή 0,961, που υποδηλώνει κανονικό υπόγειο νερό. Αυτή η τιμή δεν θεωρείται λογική, αφού η αγωγιμότητα έχει τιμή 7070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , που δείχνει την υφαλμύρωση, απ' την διείσδυση της θάλασσας (Εικ. 7.33)

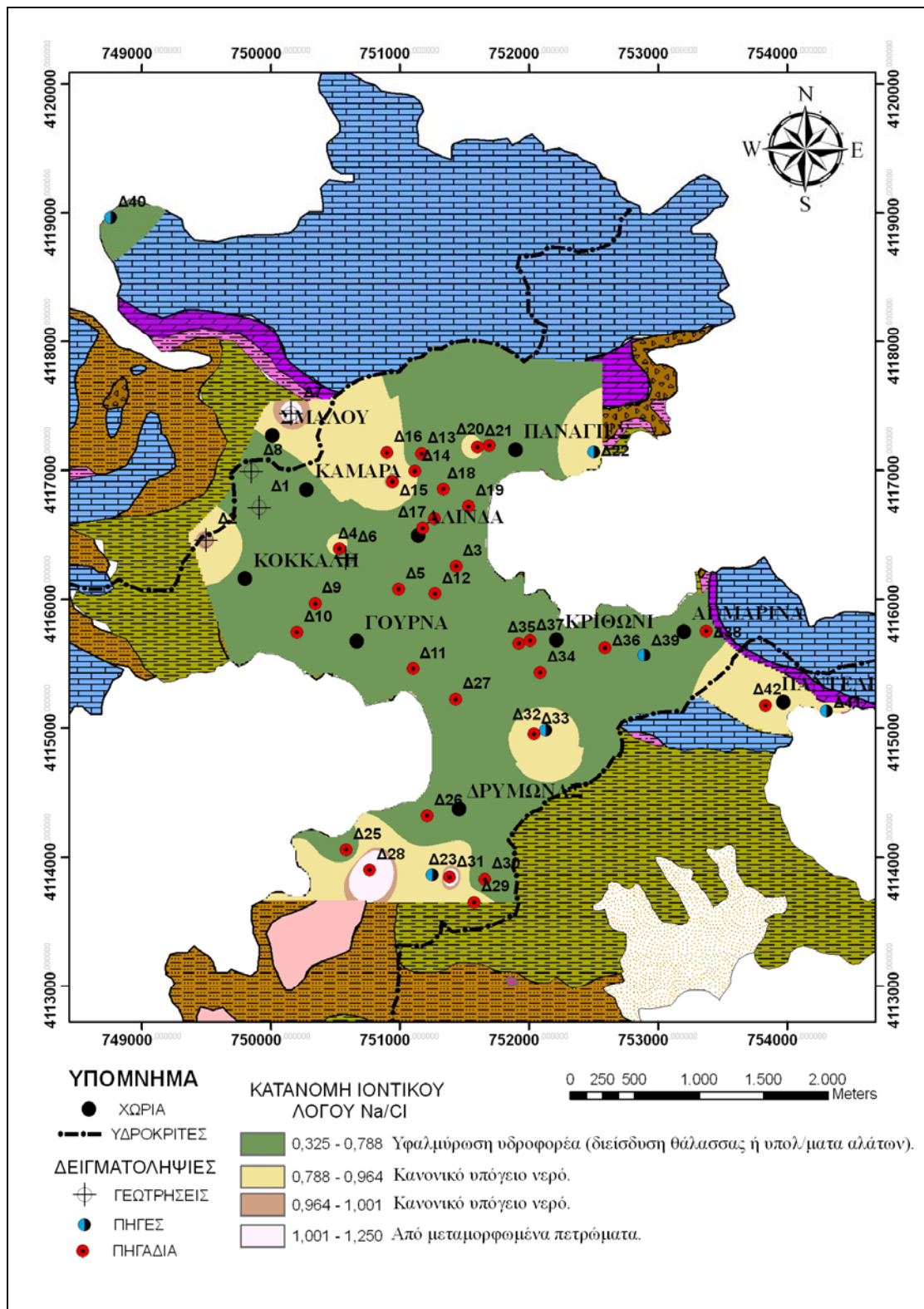
Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, ο λόγος  $\text{Na}/\text{Cl}$  έχει τιμές, που κυμαίνονται από 0,325 έως 1,250. Οι τιμές αυτές δείχνουν την υφαλμύρωση του υδροφορέα, απ' την διείσδυση του θαλασσινού νερού, κυρίως στα σημεία δειγματοληψίας, που ξέρουμε ότι το βάθος των γεωτρήσεων ή των πηγαδιών βρίσκονται στο ύψος του επιπέδου της θάλασσας, αλλά υπάρχουν και υπόγεια νερά, όπως τα Δ30, Δ34, Δ35, τα οποία δεν μπορούμε να τα αιτιολογήσουμε με βάση την διείσδυση της θάλασσας, λόγω του μεγάλου υψομέτρου. Στις περιπτώσεις αυτές, η υψηλή συγκέντρωση χλωρίου, πιθανόν να οφείλεται σε κάποια τοπική μόλυνση από ανθρωπογενείς αιτίες (Εικ. 7.33).

#### 7.9.4.2 Ιοντικός λόγος $\text{Cl}/\text{SO}_4$ .

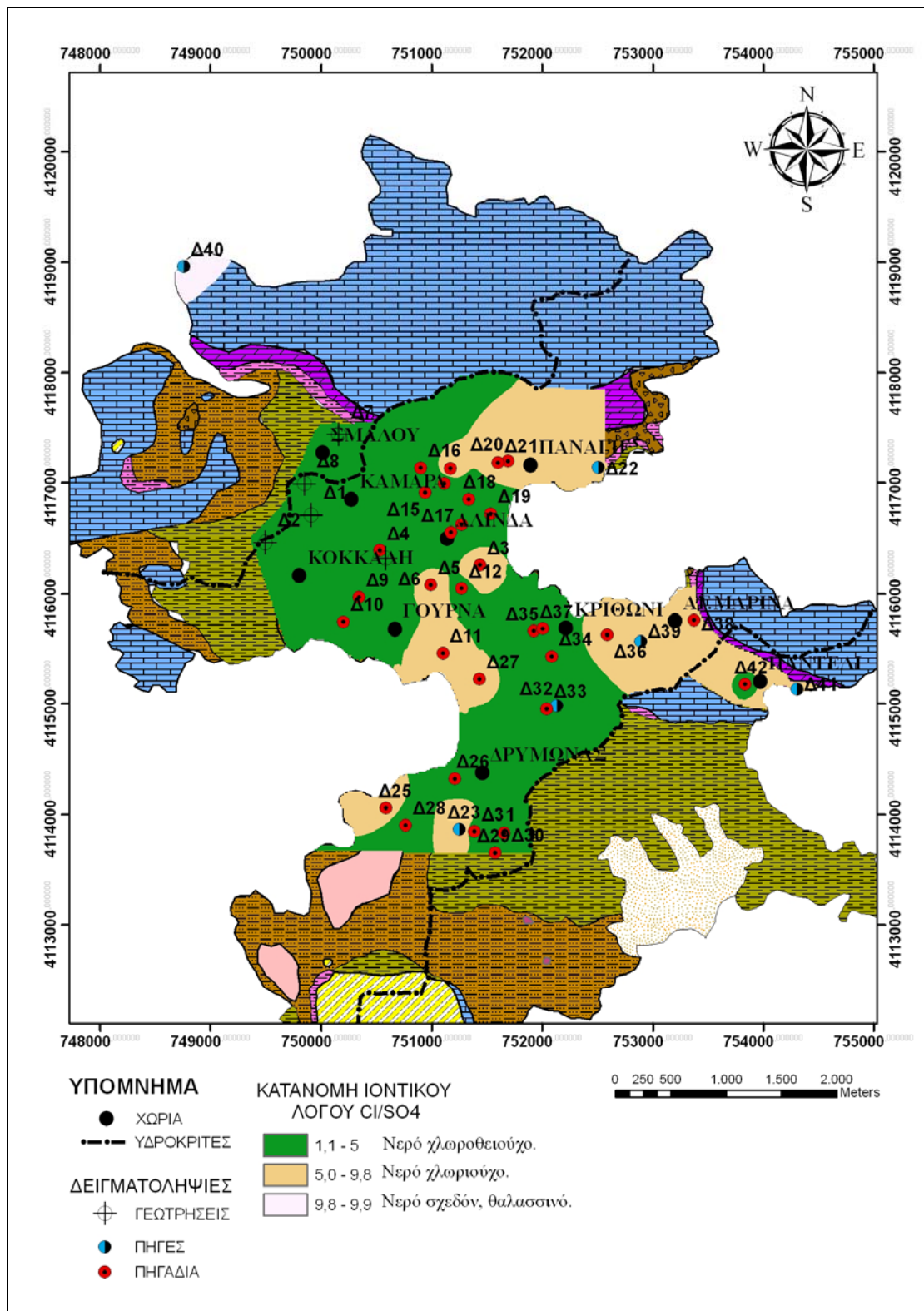
Στις αλλουβιακές αποθέσεις, ο λόγος  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  έχει τιμές, που κυμαίνονται από 3 έως 7,5. Αυτές υποδηλώνουν την υφαλμύρωση των υπόγειων νερών, απ' την διείσδυση του θαλασσινού νερού, και μπορούν να χαρακτηριστούν από χλωροθειούχα (Δ19) έως χλωριούχα (Δ11, Δ25, Δ26, Δ27). Αυτή η υφαλμύρωση είναι χαρακτηριστική στην περιοχή Γούρνα, ενώ στην περιοχή Άλιντα είναι τοπική (Εικ. 7.34).

Ο λόγος  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  έχει τιμές, που κυμαίνονται από 6,3 έως 9,9, και με βάση αυτές, μπορούν να χαρακτηριστούν χλωριούχα, εκτός από την παράκτια πηγή Ρήνα, η οποία έχει μια τιμή 9,9 και μπορεί να χαρακτηριστεί θαλασσινό, αφού πλησιάζει την τιμή 10 (Σούλιος, 2006). Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι τα καρστικά νερά των πηγών Συκίδια (Π8-Δ41) και Παναγίες (Π5 - Δ22), δεν μπορούν να θεωρηθούν χλωριούχα, όταν το κυρίαρχο ανιόν είναι η οξυανθρακική ρίζα Στην πηγή, όμως, του Αγ. Αντωνίου (Π3-Δ39) μπορεί να θεωρηθεί, αφού το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο (Εικ. 7.34).

Στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, ο λόγος  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  έχει τιμές που κυμαίνονται από 1,1 έως 9,4, οι οποίες υποδηλώνουν κυρίως χλωροθειούχα νερά και κάποια χλωριούχα υπόγεια νερά.



**Εικόνα 7.33:** Χάρτης χωρικής κατανομής του ιοντικού λόγου Na/Cl, για τα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.



Εικόνα 7.34: Χάρτης χωρικής κατανομής του ιοντικού λόγου Cl/SO<sub>4</sub>, για τα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

## 8. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.

### 8.1 Ανάλυση συστοιχίας - Hierarchical Cluster Analysis (HCA).

Η ανάλυση συστοιχίας - Hierarchical Cluster Analysis (HCA) είναι μια μέθοδος, η οποία χωρίζει ένα σύνολο υδροχημικών πληροφοριών σε δύο ή και περισσότερες ομάδες. Αυτές έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και βασίζονται στον συνδυασμό κάποιων μεταβλητών, με σκοπό την δημιουργία συνόλων (ομάδων) με κοινές ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν να σχετίζονται με το είδος των υδροφόρων οριζόντων, που φιλοξενούν τα υπόγεια νερά της κάθε ομάδας (χημική σύσταση), με την ρύπανση των υπόγειων υδάτων από ανθρωπογενείς παράγοντες (Adomako et al, 2010) αλλά και με την υφαλμύρωση, απ' την διείσδυση της θάλασσας.

Η ανάλυση συστοιχίας χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την ομαδοποίηση των δειγμάτων υπόγειου νερού (Πίνακας 8.1) της περιοχής μελέτης. Για την τεχνική (HCA), χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος, η εντολή «Ward's method», γιατί είναι η πιο συχνά χρησιμοποιημένη. Ως μέτρο, χρησιμοποιήθηκε η Τετραγωνική Ευκλείδεια απόσταση (Squared Euclidian distance) και ως τυποποίηση, η εντολή «Z-scores» (Rogerson, 2001). Επίσης, επειδή χρησιμοποιήσαμε υδροχημικούς παραμέτρους με ίδια μονάδα μέτρησης, δεν εφαρμόσαμε ως μέτρο (transform measure) για την κάθε παράμετρο, την εντολή «reclase 0-1 range», για να έχουν όλοι οι παράμετροι την ίδια βαρύτητα στην ιεράρχηση κατά ομάδες (HCA), (Adomako et al, 2010).

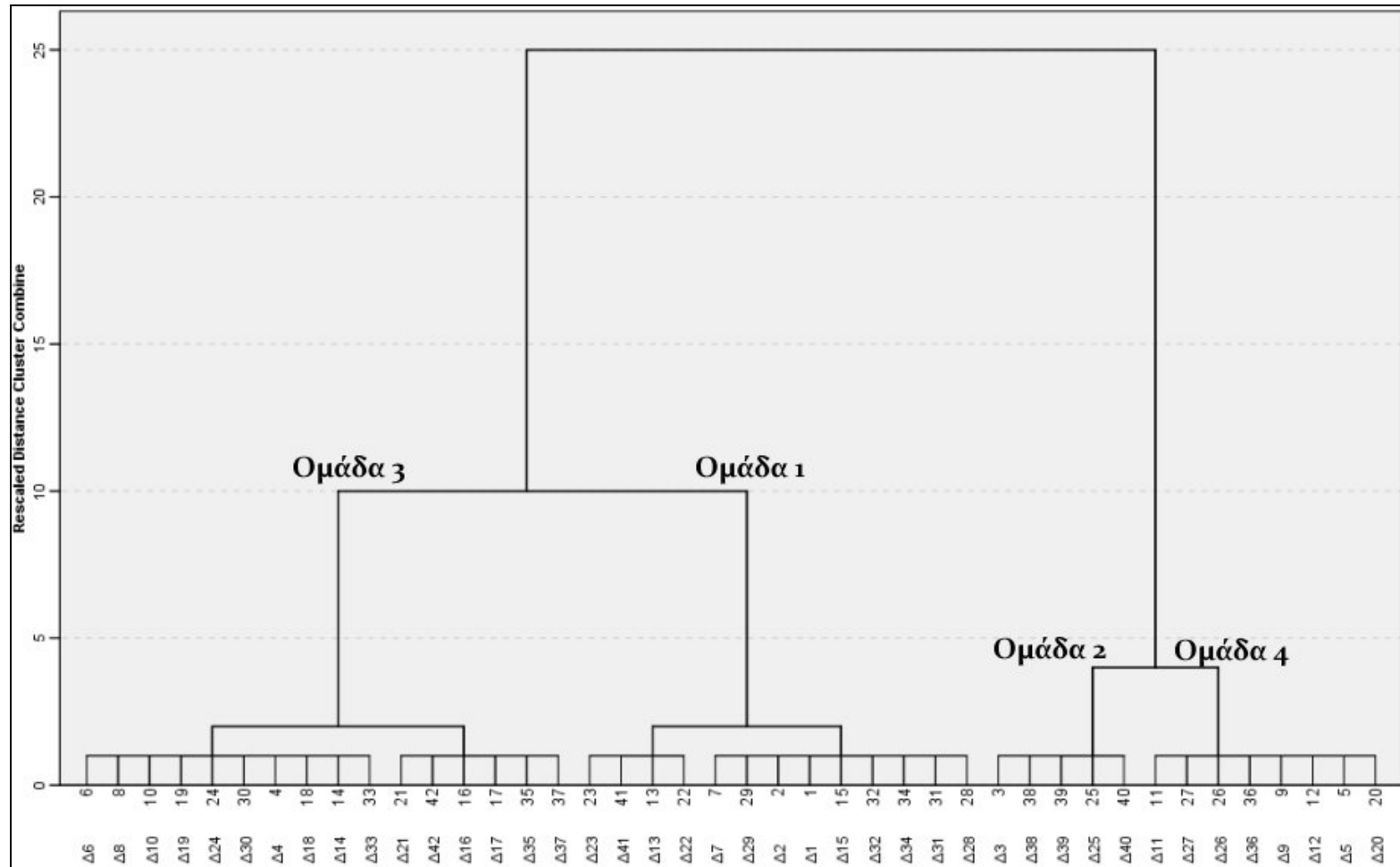
Συγκρίνοντας τον πίνακα 8.1 και το δένδρογραμμα (Σχ. 8.1), παρατηρούμε ότι υπάρχουν κάποιες ενδείξεις, όσον αφορά τις ομοιότητες και τις διαφορές, ανάμεσα στις τέσσερις ομάδες. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι έχουμε δύο ζεύγη ομάδων (1-3 & 2-4), που λόγω της μικρής απόστασης, που υπάρχει μεταξύ των δύο ομάδων του κάθε ζεύγους, συμπεραίνουμε ότι έχουν ομοιότητες, όσον αφορά την υδροχημική τους σύσταση. Όμως τα δύο ζεύγη, που ενώνονται σε μεγαλύτερη απόσταση, εμφανίζουν κάποιες διαφορές, όσον αφορά την υδροχημική τους σύσταση μεταξύ τους.

Ειδικότερα, οι ομάδες 2 και 4, αντιπροσωπεύουν σημεία δειγματοληψίας υπόγειου νερού, τα οποία τοποθετούνται κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις (Δ11, Δ25, Δ26, Δ27), στους καρστικούς υδροφόρους (Δ40, Δ39), στην επαφή μεταξύ των αλλουβιακών αποθέσεων και του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου (Δ3, Δ5, Δ9, Δ12, Δ20, Δ36, Δ38), (Εικ. 8.1). Αυτή η ομοιότητα φαίνεται και στον πίνακα 8.2, όπου οι δύο ομάδες εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μέσες συγκεντρώσεις χλωρίου, νατρίου, ασβεστίου, μαγνησίου και θεικών ιόντων, γεγονός, που μας δείχνει την υφαλμύρωση απ' την διείσδυση της θάλασσας. Επίσης, όσον αφορά τις καρστικές πηγές (Δ40, Δ39), μιλάμε για μία παράκτια καρστική πηγή (Δ40) και μία, που έχει μολυνθεί, από τους γειτονικούς απορροφητικούς βόθρους (Εικ. 8.1).

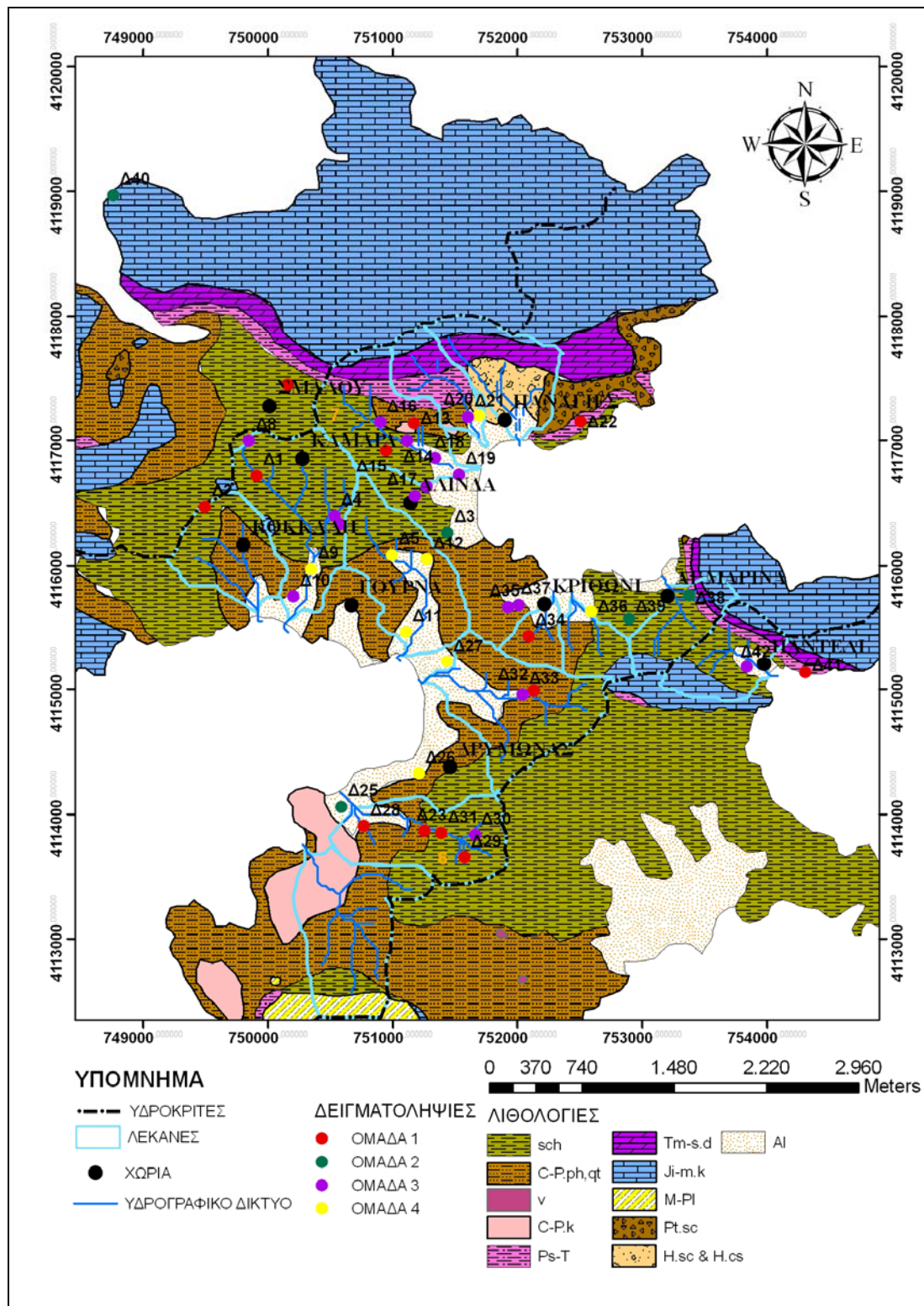
Τέλος, οι ομάδες 1 και 3 αντιπροσωπεύουν σημεία δειγματοληψίας υπόγειου νερού, τα οποία τοποθετούνται κυρίως στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα και στις ενδοχωρικές πηγές (Δ22, Δ41, Δ32). Αυτό, που παρατηρούμε, είναι ότι η ομάδα 1 τοποθετείται κυρίως στα υψηλότερα τοπογραφικά σημεία των υδρολογικών λεκανών (Δ1, Δ2, Δ7, Δ13, Δ15) και κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, όπως η λεκάνη 6, ενώ η ομάδα 3 τοποθετείται στα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία των υδρολογικών λεκανών. Επιπλέον, σε άλλες υδρολογικές λεκάνες, όπως η λεκάνη 7, η πλειοψηφία των σημείων δειγματοληψίας ανήκουν στην τρίτη ομάδα. Αυτό πιθανόν να συμβαίνει, λόγω της οπισθοδρομούσας διάβρωσης και κατά συνέπεια να έχει εισχωρήσει η θάλασσα (Εικ. 8.1).

**Πίνακας 8.1:** Ταξινόμηση των σημείων υδροληψίας σε τέσσερις ομάδες.

<b>Η κλίμακα του Βαθμού Ένταξης των σημείων υδροληψίας ανά ομάδα.</b>			
<b>Ομάδα 1(n=13)</b>	<b>Ομάδα 2 (n=5)</b>	<b>Ομάδα 3 (n=16)</b>	<b>Ομάδα 4 (n=8)</b>
Δ1	Δ3	Δ4	Δ5
Δ2	Δ25	Δ6	Δ9
Δ7	Δ38	Δ8	Δ11
Δ13	Δ39	Δ10	Δ12
Δ15	Δ40	Δ14	Δ20
Δ22		Δ16	Δ26
Δ23		Δ17	Δ27
Δ28		Δ18	Δ36
Δ29		Δ19	
Δ31		Δ21	
Δ32		Δ24	
Δ34		Δ30	
Δ41		Δ33	
		Δ35	
		Δ37	
		Δ42	



Σχήμα 8.1: Δενδρόγραμμα ιεραρχίας (HCA) για τα 42 δείγματα υπόγειου νερού.



**Εικόνα 8.1:** Η προβολή των ομάδων (1-4), που προκύπτουν από την ανάλυση συστοιχίας, πάνω στο γεωλογικό χάρτη του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου.

**Πίνακας 8.2:** Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων για την κάθε ομάδα, που προέκυψε από την ανάλυση συστοιχίας (HCA).

	ΟΜΑΔΑ 1	ΟΜΑΔΑ 2	ΟΜΑΔΑ 3	ΟΜΑΔΑ 4
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	107,5 ± 44,4	210,2 ± 111	162 ± 52,2	318 ± 137,9
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	21,6 ± 15,1	107,3 ± 33,7	42,4 ± 19,1	72,7 ± 19,9
$\text{Na}^{+}$ (mg/l)	82,4 ± 31	628,3 ± 287	162,3 ± 60,6	188,1 ± 69,4
$\text{K}^{+}$ (mg/l)	0,8 ± 1,2	23,9 ± 21	1,7 ± 1,8	1,7 ± 1,2
$\text{HCO}_3^{-}$ (mg/l)	315,8 ± 81,8	377 ± 97,4	342,7 ± 72	33,4 ± 77,1
$\text{Cl}^{-}$ (mg/l)	143,5 ± 55,6	1219,8 ± 420,8	339,1 ± 100,3	718,1 ± 265,9
$\text{SO}_4^{-2}$ (mg/l)	66 ± 37,1	217,2 ± 51,1	127,6 ± 44,5	181,2 ± 67,4
$\text{NO}_3^{-}$ (mg/l)	24,5 ± 9,8	56,8 ± 36,3	43,9 ± 18,8	59 ± 33,7
$\text{NH}_4^{+}$ (mg/l)	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,2
$\text{PO}_4^{-3}$ (mg/l)	0,2 ± 0,1	0,5 ± 0,6	0,2 ± 0,2	0,2 ± 0,1
$\text{Br}^{-}$ (mg/l)	0,1 ± 0,1	0 ± 0	0,1 ± 0	0,1 ± 0,1
$\text{I}^{-}$ (mg/l)	0,1 ± 0,2	0 ± 0	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1
$\text{SiO}_2$ (mg/l)	20,1 ± 5,8	21,1 ± 7,6	24,7 ± 6,1	27,7 ± 6,2
<b>TDS (mg/l)</b>	<b>783,6 ± 222,3</b>	<b>2863,4 ± 812,8</b>	<b>1247,6 ± 278,7</b>	<b>1901,8 ± 508,9</b>

## 8.2 Παραγοντική ανάλυση - Factor analysis.

Η παραγοντική ανάλυση είναι ένα είδος στατιστικής τεχνικής, παρόμοιας με την ανάλυση συστοιχίας (cluster analysis). Αυτή ανήκει σε μια ομάδα στατιστικών διαδικασιών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό μοτίβων, σε σχετικά μεγάλα σύνολα δεδομένων, με μεγάλους αριθμούς μεταβλητών (Dennis et al, 2010). Είναι παραδείγματος χάριν ο εντοπισμός της υδροχημικής σχέσης μεταξύ των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, από μεγάλο αριθμό δειγμάτων, με ένα πολύ μικρό αριθμό παραγόντων (factors). Αυτοί οι παράγοντες εκφράζουν, με υψηλά ποσοστά διακύμανσης (variance), τις αρχικές μεταβλητές, δηλαδή τις υδροχημικές παραμέτρους, που οι προκύπτοντες παράγοντες αποτελούνται από μεταβλητές ισχυρά συσχετιζόμενες μεταξύ τους. Κάθε παράγοντας αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη υδρογεωχημική διεργασία (Βουδούρης, 2009).

Η παραγοντική ανάλυση και συγκεκριμένα η R-τύπου, εφαρμόστηκε στα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων στα δείγματα της περιοχής μελέτης, για τις υδροχημικές παραμέτρους, που φαίνονται στον πίνακα συσχέτισης (Παράρτημα - Πίνακας 11). Απ' αυτήν εξάγονται τέσσερις παράγοντες, μ' έναν συντελεστή KMO (0,52) (Πίνακας 8.3), που την χαρακτηρίζει κατάλληλη ως τεχνική στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων. Επίσης, οι



φορτίσεις των παραγόντων, που αντιστοιχούν σε κάθε υδροχημικό παράμετρο, είναι ουσιαστικά συντελεστές συσχέτισης (Dennis et al, 2010).

**Πίνακας 8.3:** Ο δείκτης Kaiser - Meyer - Olkin (KMO) και ο δείκτης σφαιρικότητας του Bartlett's Test, οι οποίοι ελέγχουν την καταλληλότητα της παραγοντικής μεθόδου.

<b>KMO and Bartlett's Test</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,52
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	399,909
	df	66
	Sig.	0,000

Επίσης, για την επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 19, αφού πρώτα πραγματοποιήθηκε η διευθέτηση των αρχικών μεταβλητών, υπό μορφή πίνακα (data matrix). Δηλαδή, μετασχηματίστηκαν σε μεταβλητές υπό «τυποποιημένη μορφή» (standarized), σύμφωνα με την σχέση:  $z_i = (x_i - m) / \sigma$ . Έτσι ώστε, η κάθε μεταβλητή, να έχει μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με την μονάδα (Βουδούρης, 2009). Αυτός ο μετασχηματισμός γίνεται, για να μην επηρεάζουν οι υδροχημικές παράμετροι, με πολύ μεγάλες αριθμητικές τιμές, την ομαδοποίηση τους. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων χρησιμοποιήθηκαν σε meq/l.

**Πίνακας 8.4:** Περιστροφή συνιστωσών, που δείχνει τα παραγοντικά φορτία.

<b>Πίνακας Περιστροφής Συνιστωσών</b>				
	<b>Παράγοντες</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,08	0,93	0,04	-0,15
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,69	0,42	-0,39	-0,08
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,93	0,20	-0,03	-0,08
<b>K<sup>+</sup></b>	0,91	0,00	0,07	0,05
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,77	0,56	-0,09	-0,13
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	0,51	0,80	-0,07	-0,06
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,12	0,69	0,27	-0,06
<b>Cd</b>	-0,23	-0,12	0,08	0,75
<b>Mn</b>	-0,05	0,18	0,80	0,19
<b>Fe</b>	0,08	-0,01	-0,02	0,80
<b>Cr</b>	-0,04	-0,07	0,84	-0,13
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,19	0,60	-0,27	0,34

Γενικά, για την περιγραφή ή ερμηνεία, του κάθε παράγοντα, χρησιμοποιούμε τα παραγοντικά φορτία, τα οποία έχουν τιμή πάνω από 0,4, δηλαδή αποκόβουμε τα χαμηλά παραγοντικά φορτία απ' τα υψηλότερα. Εκτός, και αν οι πληροφορίες της περιοχής επιτρέπουν την χρήση τους. Επίσης, στη περίπτωση, που χρησιμοποιήσουμε τα χαμηλά παραγοντικά φορτία, τότε, τον κάθε παράγοντα τον αναλύουμε σε υποομάδες, ανάλογα με το εύρος των τιμών των παραγοντικών φορτίων, δηλαδή, τον χωρίζουμε σε υψηλή, σε μέτρια και σε μικρή συμμετοχή, των παραγοντικών φορτίων στον παράγοντα, με βάση τα ακόλουθα εύρη: α)  $\pm 1,00-0,70$  (Υψηλή), β)  $\pm 0,69-0,50$  (μέτρια), γ)  $\pm 0,49-0,30$  (χαμηλή), (Shaw and Wheeler, 1985). Αυτή, η παραπάνω ταξινόμηση, χρησιμοποιήθηκε στην παραγοντική ανάλυση των μεταβλητών (υδροχημικοί παράμετροι), για την επεξήγηση των υδρογεωλογικών διεργασιών, που επικρατούν στο κεντρικό τμήμα της νήσου Λέρου.

**Ο πρώτος παράγοντας (I)** εκφράζει το 26,2 % (Παράρτημα - Πίνακας 12) της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και χαρακτηρίζεται ως παράγοντας της αλατότητας, επειδή παρουσιάζει υψηλές φορτίσεις στις μεταβλητές  $\text{Na}^+$  (0,93),  $\text{K}^+$  (0,91),  $\text{Cl}^-$  (0,77),  $\text{Mg}^{2+}$  (0,69) και  $\text{SO}_4^{-2}$  (0,51). Αυτές συνδέονται με την διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υδροφόρους ορίζοντες, με αποτέλεσμα να αυξάνει τις τιμές των παραπάνω στοιχείων. Ακόμα, τα τρία πρώτα στοιχεία παίζουν τον πρωτεύοντα ρόλο (την υψηλή σχέση) στον παράγοντα, ενώ τα άλλα δύο τον δευτερεύοντα ρόλο (την μέτρια σχέση), σύμφωνα, με την παραπάνω ταξινόμηση. Επίσης, επειδή το χλώριο εμφανίζει μεγάλους συντελεστές συσχέτισης με το νάτριο (0,90), τα θειικά (0,85), το μαγνήσιο (0,79), και το κάλιο (0,63), (Παράρτημα - Πίνακας 11), μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την υφαλμύρωση, λόγω της διείσδυσης της θάλασσας.

Από την γεωγραφική κατανομή των παραγοντικών τιμών του παράγοντα I (Εικ. 8.2) φαίνεται ότι η παράκτια περιοχή της Αγ. Μαρίνας (Δ38) και η παράκτια καρστική πηγή Ρήνα (Δ40), εμφανίζει τις πολύ υψηλές θετικές τιμές, λόγω της υφαλμύρωσης από την διείσδυση της θάλασσας. Η πηγή του Αγ. Αντωνίου (Δ39) εμφανίζει υψηλές τιμές, λόγω της μόλυνσης απ' τους απορροφητικούς βόθρους, αφού βρίσκεται σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή. Επίσης, υψηλές τιμές, του παράγοντα, εμφανίζονται, τοπικά, στην περιοχή Δρυμόνα (Δ25) και Άλιντα (Δ3), για τον ίδιο παραπάνω λόγο, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα της περιοχής μελέτης, επικρατούν αρνητικές τιμές, με τις χαμηλότερες να βρίσκονται, κυρίως, στα ψηλά τοπογραφικά σημεία και στις ενδοχωρικές πηγές.

**Ο δεύτερος παράγοντας (II)** εκφράζει το 24,3% (Παράρτημα - Πίνακας 12) της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και χαρακτηρίζεται ως παράγοντας της χρήσης, αζωτούχων λιπασμάτων, επειδή παρουσιάζει υψηλές φορτίσεις στις μεταβλητές  $\text{Ca}^{2+}$  (0,93),  $\text{SO}_4^{-2}$  (0,80),  $\text{NO}_3^-$  (0,69) και  $\text{NH}_4^+$  (0,60). Τα δύο πρώτα ιόντα παίζουν τον πρωτεύοντα ρόλο (την υψηλή σχέση), ενώ τα άλλα δύο τον δευτερεύοντα ρόλο (την μέτρια σχέση) στον παράγοντα. Επίσης,

το ασβέστιο εμφανίζει έναν συντελεστή συσχέτισης, με τα νιτρικά και θειικά ιόντα, 0,56 και 0,76, αντίστοιχα, ενώ τα αμμωνιακά ιόντα έχουν έναν συντελεστή συσχέτισης με τα θειικά ιόντα 0,48 (Παράρτημα - Πίνακας 11). Αυτές οι σχέσεις δείχνουν την χρήση θειικής αμμωνίας ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), για την οξίνιση του εδάφους, λόγω απομάκρυνσης του Ca<sup>2+</sup>, με τους παρακάτω μηχανισμούς, (Μπόβη, 1991) : α) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → 2NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> + Ca<sup>2+</sup> → CaSO<sub>4</sub> και β) 2NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ... → 2NO<sub>3</sub> + Ca<sup>2+</sup> → Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

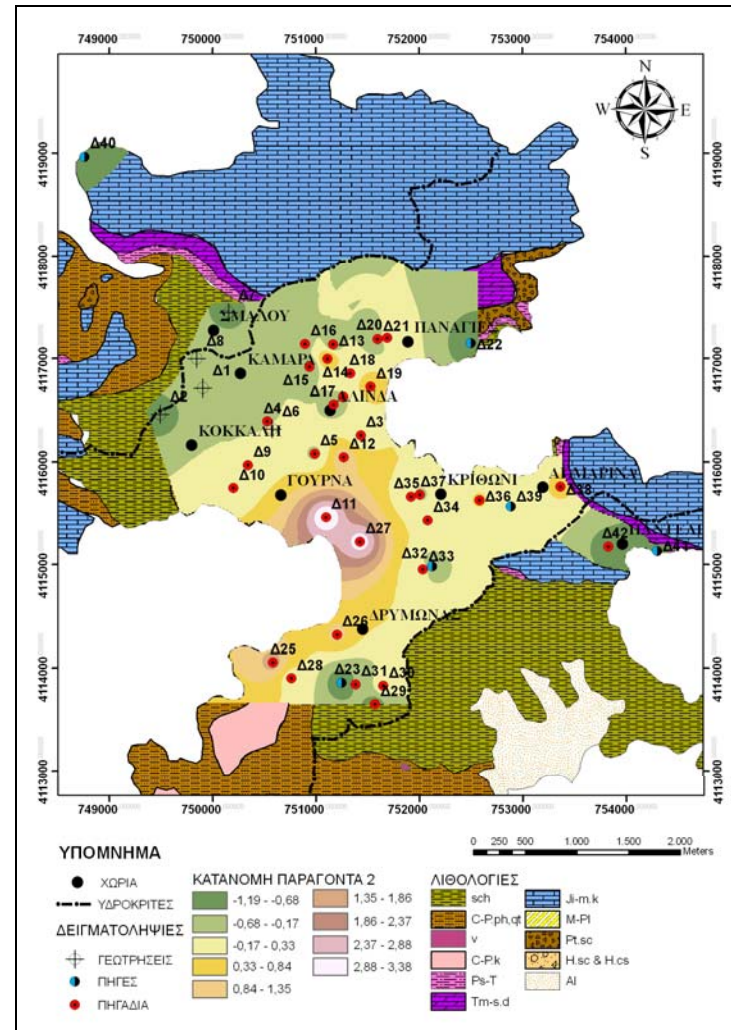
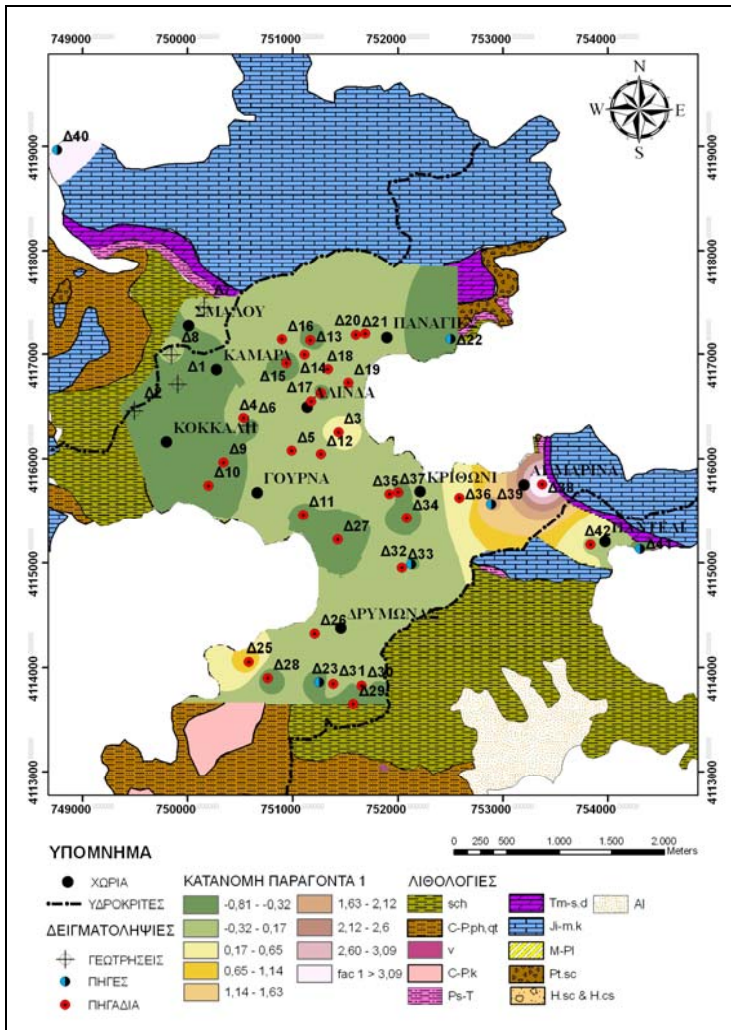
Από την γεωγραφική κατανομή των παραγοντικών τιμών του παράγοντα II (Εικ. 8.3), παρατηρούμε ότι τις μεγαλύτερες θετικές τιμές εμφανίζονται, στις περιοχές Γούρνα, Δρυμόνα, και Άλινα, λόγω της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, αφού πρόκειται για καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Στα ψηλά τοπογραφικά σημεία, όπου δεν υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, και στις πηγές εμφανίζουν αρνητικές τιμές του παράγοντα.

**Ο τρίτος παράγοντας (III)** εκφράζει το 13,9 % (Παράρτημα - Πίνακας 12) της ολικής διακύμανση των δεδομένων και χαρακτηρίζεται ως παράγοντας των βαρέων μετάλλων, επειδή παρουσιάζει υψηλές φορτίσεις στις μεταβλητές Mn (0,80) και Cr (0,84). Αυτά, πιθανόν, προέρχονται από τον σπασσαρτίνη (γρανάτης), (Καταγιάς, 1980), ενώ το χρώμιο απ' τους χρωμιούχους σμεκτίτες (Sioulas et al, 1998).

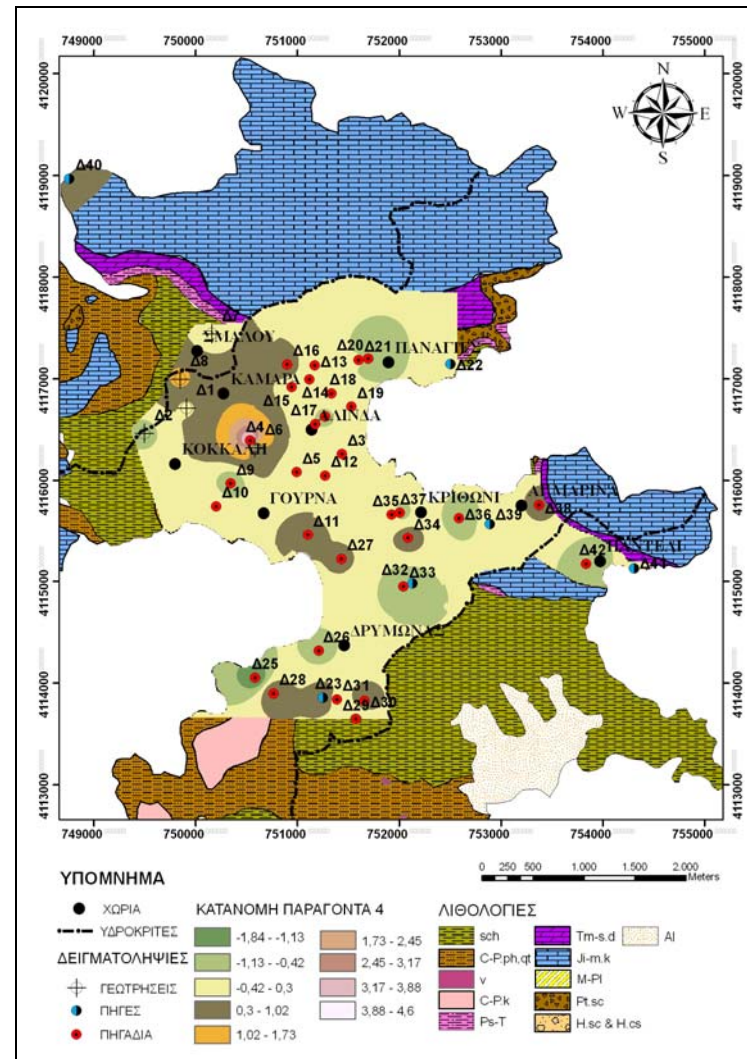
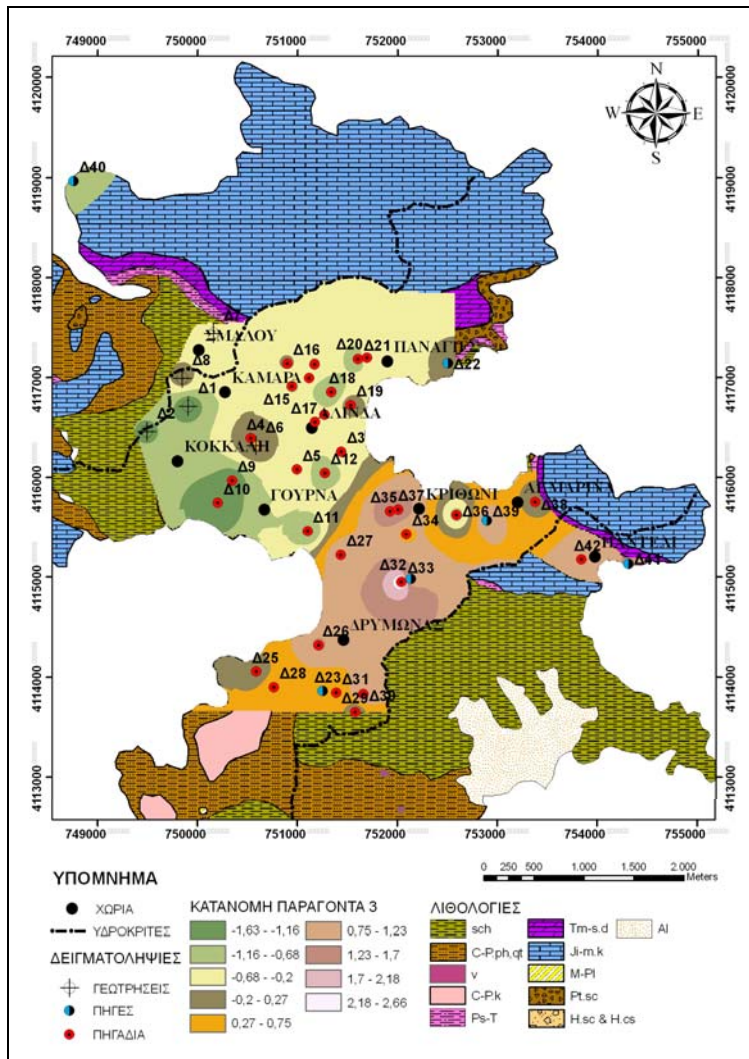
Από την γεωγραφική κατανομή των παραγοντικών τιμών, του παράγοντα III (Εικ. 8.4), παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες θετικές τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ στο βόρειο τμήμα της περιοχή μελέτης, εμφανίζονται αρνητικές τιμές. Αυτό μας δείχνει ότι τα βαρέα μέταλλα, χρώμιο (Cr) και μαγγάνιο (Mn), εμφανίζονται, σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, στα υπόγεια νερά του κεντρικού και νότιου τμήματος της περιοχής μελέτης.

**Ο τέταρτος παράγοντας (IV)** εκφράζει το 12,2 % (Παράρτημα - Πίνακας 12) της ολικής διακύμανση των δεδομένων και χαρακτηρίζεται ως παράγοντας των βαρέων μετάλλων, επειδή παρουσιάζει υψηλές φορτίσεις στις μεταβλητές Fe (0,80) και Cd (0,75). Αυτός συνδέεται, με την γεωχημική σύσταση των πετρωμάτων, όπου ο Fe προέρχεται απ' την διάσπαρτη σιδηρούχο μεταλλοφορία και το επίδοτο, όσον αφορά τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (C-P, ph.qf), αλλά και απ' τον αλμανδίνη, βιοτίτη και κεροστίλβη, όσον αφορά τα μεταμορφωμένα πετρώματα του βαρίσκιου υποβάθρου (sch). Το Cd προέχεται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής. Από την γεωγραφική κατανομή των παραγοντικών τιμών του παράγοντα IV (Εικ. 8.5), παρατηρούμε, ότι, τοπικά, στις παράκτιες περιοχές Παντέλι, Κριθώνι, Δρυμόνα, και σ' άλλες ενδοχωρικές περιοχές (Δ9, Δ2, Δ21, Δ33), δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα απ' τα βαρέα μέταλλα του σιδήρου (Fe) και του καδμίου (Cd).

Επίσης, οι υψηλότερες θετικές τιμές εμφανίζονται στην παράκτια περιοχή της Γούρνας, σε όλη την υδρολογική λεκάνη του Δρυμόνα (λεκάνη 6) και στην περιοχή Σμαλού και Καμάρα.



Εικόνες 8.2 & 8.3: Χάρτες κατανομής των παραγόντων 1 και 2, στο κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου, αντίστοιχα.



Εικόνες 8.4 & 8.5: Χάρτες κατανομής των παραγόντων 3 και 4, στο κεντρικό τμήμα της Ν. Λέρου, αντίστοιχα.

## 9. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ.

### 9.1 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση.

Σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις, που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της Ν. Λέρου, μόνο το 33,3 % των δειγμάτων (14 δείγματα), μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για πόσιμο νερό, με βάση τα όρια που θέτει η Ε.Ε για τα κύρια στοιχεία (Πίνακας 9.1, Εικ. 9.1).

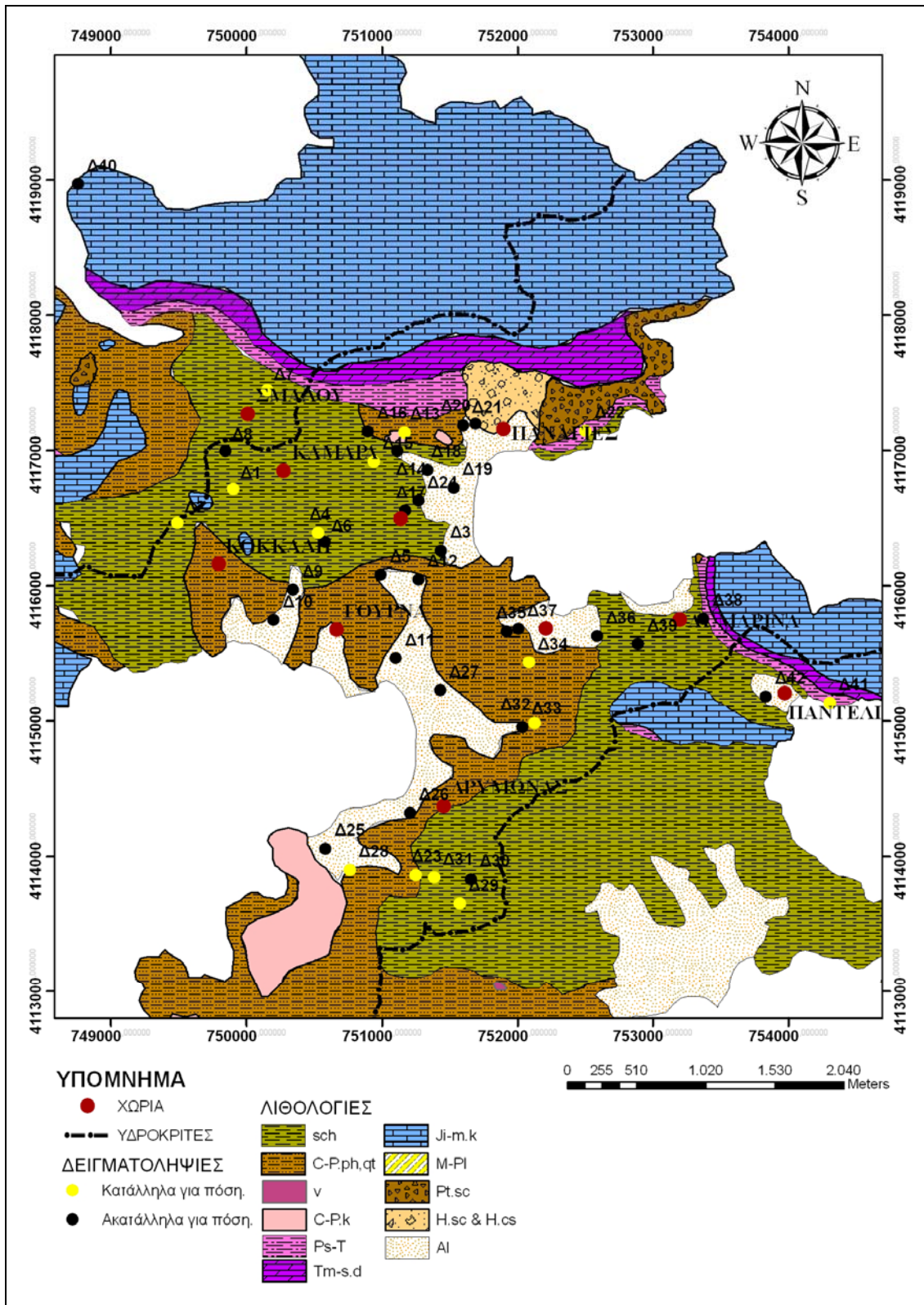
Όμως, με βάση τις υψηλές συγκεντρώσεις, που εμφανίζουν στα βαρέα μέταλλα, κανένα από τα 14 δείγματα υπόγειου νερού, δεν θεωρείται κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση.

**Πίνακας 9.1:** Ποσοστά υπέρβασης δειγμάτων για τα κύρια στοιχεία.

Παράμετρος	Παραμετρική Τιμή (98/83/ΕΚ)	Ποσοστό (%) Δειγμάτων που υπερβαίνουν το όριο.
Na <sup>+</sup>	200 mg/l	23,8 %
Cl <sup>-</sup>	25 mg/l	59,5 %
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	250 mg/l	7 %
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50 mg/l	31 %
<b>ΚΑΜΙΑ</b>	-	33,3 % (14)

**Πίνακας 9.2:** Ποσοστά υπέρβασης δειγμάτων για κάθε ιχνοστοιχείο.

Παράμετρος	Παραμετρική Τιμή (98/83/ΕΚ)	Ποσοστό(%) δειγμάτων που υπερβαίνουν το όριο από τα 14 δείγματα (33,3%)
Fe	0,2 mg/l	7,1 %
Mn	0,05 mg/l	0 %
Cd	0,005 mg/l	71,4 %
Co	0,05 (άρδευση)	100 %
Cr	0,05 mg/l	100 %
Cu	2,0 mg/l	0 %
Zn	0,1 mg/l	42,8 %
Ni	0,02 mg/l	100 %
<b>ΚΑΜΙΑ</b>	-	0 %



**Εικόνα 9.1:** Τα υπόγεια νερά, που θεωρούνται κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση (33,3%), με βάση τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων.

Επίσης, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 9.2), όλα τα δείγματα υπόγειου νερού, τα οποία αντιπροσωπεύουν το 33,3% (14 δείγματα) των συνολικών δειγμάτων, υπερβαίνουν τα όρια, που θέτει η Ε.Ε για το νικέλιο και το χρώμιο. Επιπλέον όμως και τα υπόλοιπα είκοσι οχτώ (28) δείγματα εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις, στα αντίστοιχα στοιχεία (Παρ - Πίνακας 9).

Ο Tulirano.L (2005) θεωρεί ότι υπάρχουν νερά καλής ποιότητας, τα οποία φιλοξενούνται στους καρστικούς υδροφόρους, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πόσιμο νερό. Εμείς, κάνοντας τις υδροχημικές αναλύσεις, σε τέσσερα δείγματα νερού, που ανήκουν σε τρία καρστικά υδροσυστήματα, Λαγκάδα (Π5-Δ22) και (Π1-Δ40), Απεττίκι - Π. του Κάστρου (Π8-Δ41) και Μεροβίγλι (Π3-Δ39), δεν θεωρούμε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πόσιμο νερό, αφού εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, πάνω απ' το όριο, που θέτει η Ε.Ε. Όμως, με βάση τις υδροχημικές αναλύσεις των κύριων ανιόντων και κατιόντων, θεωρούμε ότι μόνο το νερό των πηγών Παναγίες (Π5 - Δ22) και Συκίδια (Π8 - Δ41), μπορεί να χαρακτηριστεί πόσιμο νερό, ενώ οι πηγές Ρήνα (Δ40) και Αγ. Αντώνιος (Δ39) χαρακτηρίζονται ακατάλληλες για πόσιμο νερό.

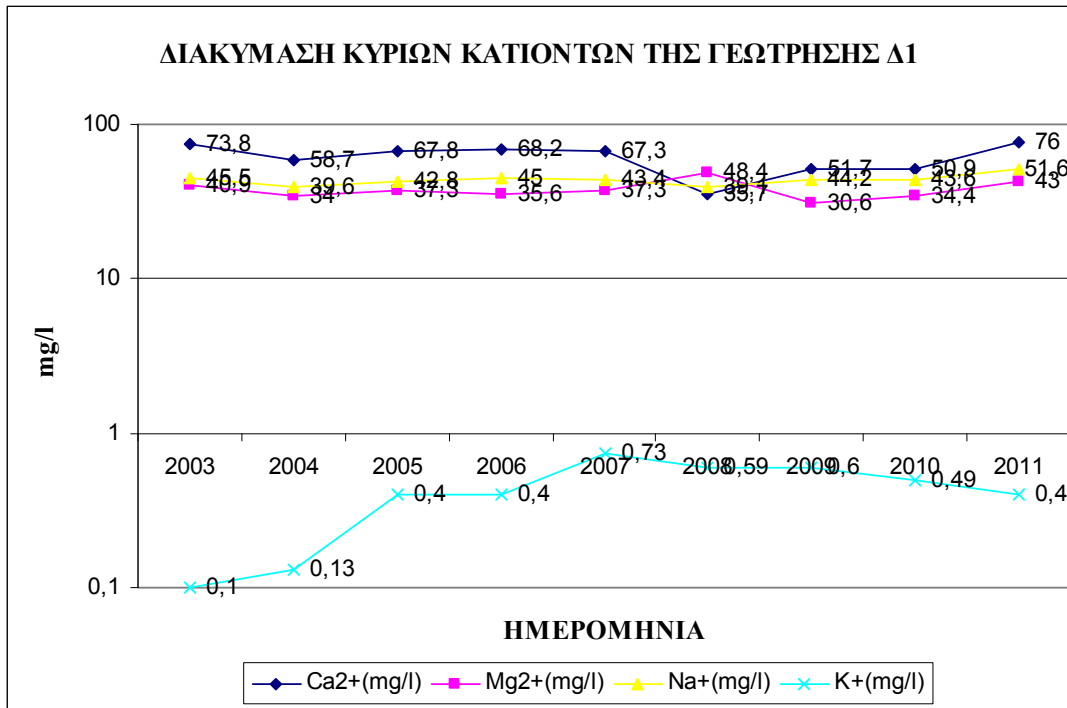
Συγκεκριμένα, η πηγή του Αγ. Αντωνίου εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις, χλωρίου και νιτρικών, λόγω της μόλυνση της απ' ανθρωπογενείς παράγοντες (απορροφητικοί βόθροι), αφού τοποθετείται σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή. Η πηγή Ρήνα δε χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση χλωρίου ( $Cl^- = 1702,1 \text{ mg/l}$ ), αλλά και άλλων ιόντων, όπως νατρίου και καλίου, λόγω της υφαλμύρωσης της απ' την διείσδυση της θάλασσας.

Τέλος, η τοπική αρχή ΔΕΥΑΛ, προμηθεύει το νησί με πόσιμο νερό, από την γεώτρηση Σμαλού - Δ1. Με βάση τις δικές μας υδροχημικές αναλύσεις, ούτε αυτό το υπόγειο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανθρώπινη κατανάλωση, γιατί εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, συγκεκριμένα του ψευδαργύρου, του καδμίου, του κολβατίου, του χρωμίου και του νικελίου. Επίσης, αν γίνει μια προσέγγιση, ως προς τα κύρια στοιχεία, για την περίοδο 2003-2011, παρατηρούμε ότι στα κύρια κατιόντα, εκτός του καλίου, εμφανίζουν γενικά μια ομαλή αύξηση των συγκεντρώσεων τους μέσα στην διάρκεια των εννέα ετών, ενώ το κάλιο εμφανίζει μια απότομη αύξηση από το 2003 έως το 2005, μια σταθεροποίηση στα έτη 2005 - 2006 και μια ομαλή πτώση της συγκέντρωσης από το 2007 έως το 2011(Σχ. 9.1).

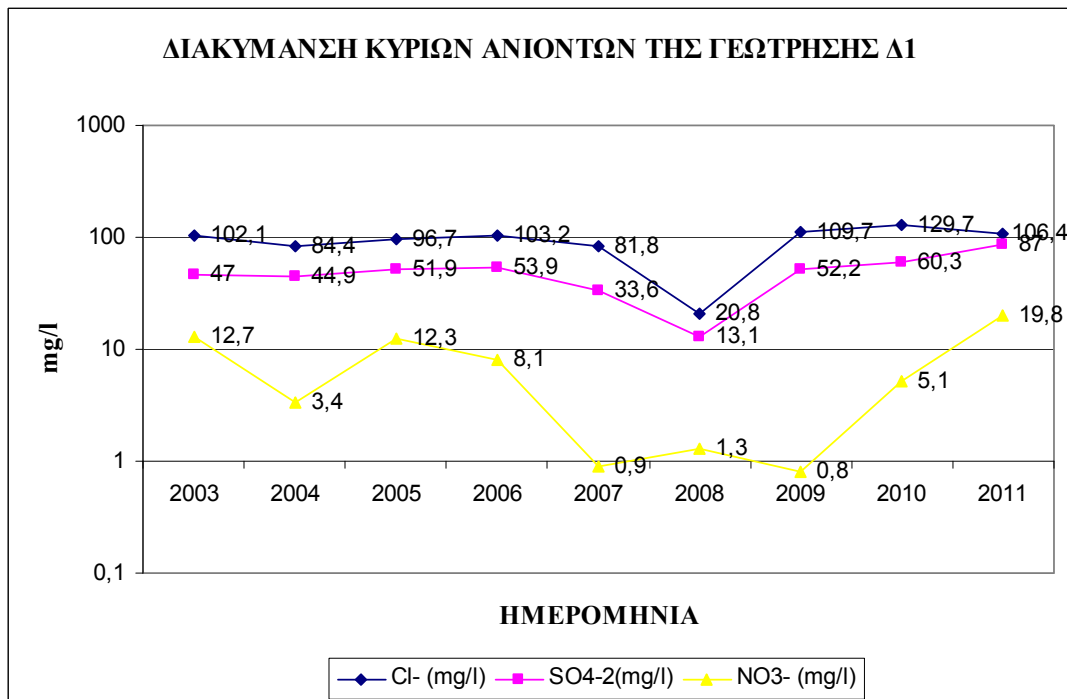
Επιπλέον, όσον αφορά τα κύρια ανιόντα, παρατηρούμε ότι το χλώριο και τα θειικά ακολουθούν μια παρόμοια πορεία κατά την διάρκεια των εννέα ετών, με την χαρακτηριστική απότομη μείωση και αύξηση κατά τα έτη 2007 - 2008 και 2008 - 2009, αντίστοιχα. Αυτή η παρόμοια πορεία, συμβαίνει, επειδή είναι δύο στοιχεία, που συνδέονται με την υφαλμύρωση απ' την διείσδυση της θάλασσας, η οποία για κάποιο λόγο μειώθηκε το 2007 - 2008 και αυξήθηκε 2008 - 2009. Τέλος, όσον αφορά τα νιτρικά, παρατηρούμε μια ανώμαλη αύξηση και μείωση της συγκέντρωσης τους, κατά την διάρκεια της εννιαετίας (Σχ. 9.2). Βέβαια πρέπει να



αναφέρουμε ότι τα παρακάτω γραφήματα (Σχ. 9.1 και 9.2) δίνουν μια γενική εικόνα και όχι μία, με απόλυτη ακρίβεια, λόγω του ότι οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικό μήνα της ξηρής περιόδου.



Σχήμα 9.1: Διακύμανση κύριων κατιόντων της γεώτρησης Δ1 - Σμαλού.



Σχήμα 9.2: Διακύμανση κύριων ανιόντων της γεώτρησης Δ1 - Σμαλού.

## 9.2 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για άρδευση.

Οι ποιοτικές απαιτήσεις για αρδευτικό νερό ποικίλουν, ανάλογα με την αρδευόμενη περιοχή. Ένα αρδευτικό νερό, που είναι μέτριο ή κακό για μια περιοχή, μπορεί να είναι άριστο για κάποια άλλη και αντίστροφα. Γενικά, περιοχές, καλά στραγγιζόμενες και καλά αεριζόμενες, δέχονται αρδευτικό νερό με υψηλή αλατότητα, δηλαδή υψηλή τιμή TDS, ενώ μη στραγγιζόμενες ή αεριζόμενες θέλουν αρδευτικό νερό φτωχό σε αλατότητα (Σούλιος, 2006).

Ένα βασικό κριτήριο είναι ο συντελεστής SAR (Sodium Absorption Ratio = Συντελεστής απορρόφησης Νατρίου) που υπολογίζεται από την σχέση

$$SAR = Na / \sqrt{((Ca + Mg) / 2)}$$

όπου οι συγκεντρώσεις Na, Ca και Mg αναφέρονται σε meq/l.

Η τιμή του S.A.R. εκφράζει την ενεργητικότητα των ιόντων νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με κατιόντα, όπως Ca και Mg, που έχουν προσροφηθεί απ' τα κolloειδή του εδάφους (Τσακίρης, 2004). Το νάτριο, δηλαδή, έχει την δυνατότητα να δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους κατά την ανταλλαγή των ιόντων και έτσι προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους (Καλλέργης, 2000).

Με βάση την τιμή του S.A.R. διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Υπουργείου Γεωργίας των Η. Π. Α. Οι κατηγορίες αυτές, για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα 100μS/cm, είναι οι ακόλουθες:

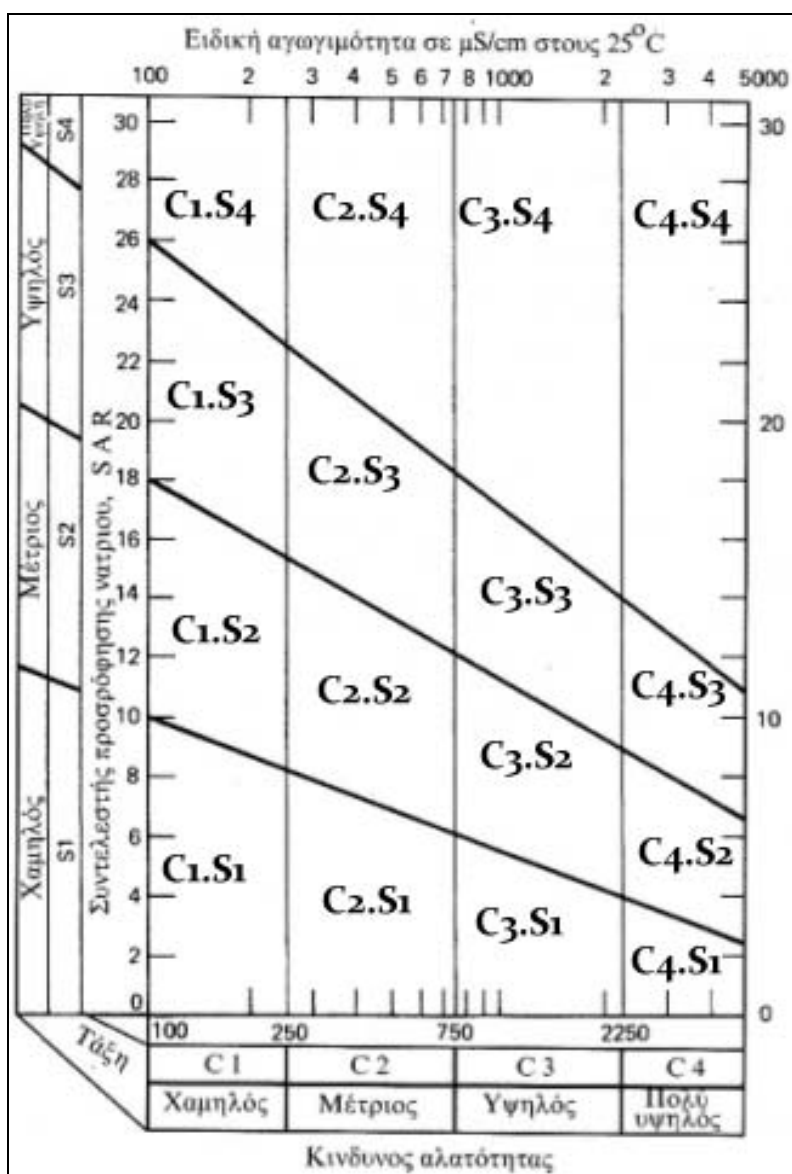
- Κατηγορία 1: S.A.R <10, κίνδυνος νατρίου μικρός.
- Κατηγορία 2: S.A.R από 10 έως 18, κίνδυνος νατρίου μέσος.
- Κατηγορία 3: S.A.R από 18 έως 26, κίνδυνος νατρίου μεγάλος.
- Κατηγορία 4: S.A.R >26, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος.

Οι παραπάνω τέσσερις κατηγορίες μεταβάλλονται, ως συνάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού. Έτσι λοιπόν, για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα  $E = 2250 \mu\text{S/cm}$  οι παραπάνω τέσσερις κατηγορίες γίνονται S.A.R. < 4, από 4.4 έως 9, από 9 έως 14 και >14 αντίστοιχα (Σχ. 9.3)

Επίσης, λόγω του ότι ο δείκτης SAR βασίζεται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.), πραγματοποιείται μια ταξινόμηση, ως προς την αλατότητα, η οποία παρέχει ενδείξεις για τον κίνδυνο αλατώσεως του εδάφους και μετράται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, που εκφράζεται σε  $\mu\text{S/cm}$  στους  $25^\circ \text{C}$ . Το αρδευτικό νερό με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C) κατατάσσεται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ποιότητας (Καλλέργης, 2000) (Σχ. 9.3) :

- Τάξη C1: (TDS<200, EC<250). Νερό χαμηλής αλατότητας, το οποίο δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα. Σε περιοχές πολύ χαμηλής περατότητας, απαιτείται κάποια απόπλυση.
- Τάξη C2: (TDS: 200-500, EC: 250-750). Νερό μέτριας αλατότητας. Απαιτείται μέτρια απόπλυση των αρδευομένων εδαφών.

- Τάξη C3: (TDS: 500-1500, EC: 750-2250). Νερό υψηλής αλατότητας, ακατάλληλο για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης στράγγισης. Απαιτούνται μέτρα ελέγχου της αλατότητας και καλλιέργεια μόνο ανθεκτικών σ' αυτήν φυτών.
- Τάξη C4: (TDS: 1500-3000, EC: 2250-5000). Νερό πολύ υψηλής αλατότητας. Ακατάλληλο για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες. Χρησιμοποιείται σε εδάφη πολύ περατά, τα οποία στραγγίζουν πολύ καλά. Συνίσταται η χρησιμοποίηση πλεονάσματος νερού, ώστε να επιτευχθεί απόπλυση του εδάφους και η καλλιέργεια πολύ ανθεκτικών, στην αλατότητα, φυτών.



Σχήμα 9.3: Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών (Richards, 1954).

Ο Wilcox (1950) συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω ταξινομήσεις (E.C και SAR), πρότεινε τις παρακάτω κατηγορίες, οι οποίες διακρίνονται και στο παραπάνω διάγραμμα.

- A. C1-S1: ποιότητα καλή.
- B. C1-S2, C2-S1: ποιότητα καλή μέχρι μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα εδάφη, που δεν αποστραγγίζονται καλά και επίσης με επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά.
- C. C1-S3, C2-S2, C3-S1: ποιότητα μέτρια, μέχρι πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή να προστίθεται σε αυτό γύψος.
- D. C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1: ποιότητα πολύ μέτρια μέχρι κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαρεία εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος.
- E. C2-S4, C3-S3, C4-S2: ποιότητα κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο για ανθεκτικά φυτά σε ελαφρά εδάφη καλώς αποστραγγιζόμενα, με προσθήκη γύψου.
- F. C3-S4, C4-S3, C4-S4: πολύ κακή ποιότητα δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε καμία περίπτωση.

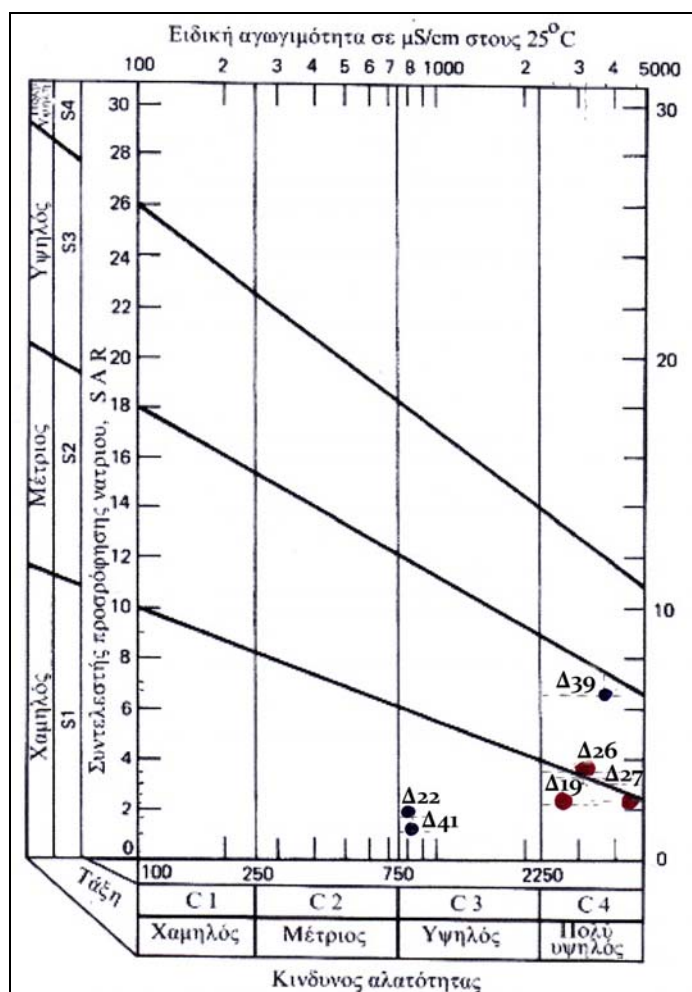
Με βάση την παραπάνω κατάταξη (Σούλιος, 2006), ταξινομήσαμε τα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης και από τους τρεις υδρολιθολογικούς σχηματισμούς, με σκοπό να προσδιορίσουμε την καταλληλότητα τους, ως προς την άρδευση.

Γι' αυτό τον σκοπό, χρησιμοποιήσαμε δύο διαγράμματα Richards, που το πρώτο αναφέρεται στα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων και της καρστικής υδροφορίας, ενώ το δεύτερο στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.

Τα υπόγεια νερά των αλλουβιακών αποθέσεων αντιπροσωπεύονται από πέντε δείγματα νερού, από τα οποία, μόνο τα τρία προβάλλονται στο γράφημα Richard. Συγκεκριμένα, τα δείγματα Δ11 και Δ25 προβάλλονται εκτός διαγράμματος, λόγω των μεγάλων τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που εμφανίζουν, δηλαδή ξεπερνούν την τιμή 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , η οποία είναι η μεγαλύτερη του διαγράμματος. Γι' αυτό θεωρούμε ότι είναι ακατάλληλα για άρδευση. Τα υπόλοιπα δείγματα (Δ19, Δ26, Δ27), τοποθετούνται εντός διαγράμματος και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) C4.S1 (Δ19, Δ27) και β) C4.S2 (Δ26). Όσο αφορά την πρώτη κατηγορία, χαρακτηρίζονται κακής ποιότητας και ακατάλληλα για άρδευση, λόγω της υψηλής αλατότητας, εκτός και αν το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων είναι μεγάλο και η περατότητα τους είναι μεγάλη, ενώ όσον αφορά την δεύτερη κατηγορία, το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται επίσης κακής ποιότητας και ακατάλληλο για ένα έδαφος, που δεν αποστραγγίζεται καλά (Σχ. 9.4).

Τα υπόγεια νερά των καρστικών υδροφόρων αντιπροσωπεύονται από τέσσερα δείγματα, απ' τα οποία μόνο τα τρία προβάλλονται στο διάγραμμα Richard. Συγκεκριμένα, το δείγμα Δ40 προβάλλεται εκτός διαγράμματος, λόγω της υψηλής τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που

εμφανίζει, δηλαδή 7070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τα υπόλοιπα δείγματα ( $\Delta 24$ ,  $\Delta 39$ ,  $\Delta 41$ ) διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) C3.S1 ( $\Delta 22$ ,  $\Delta 41$ ) και β) C4.S2 ( $\Delta 39$ ). Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία, τα νερά των καρστικών πηγών Παναγίες (Π5- $\Delta 22$ ) και Συκίδια (Π8- $\Delta 41$ ), χαρακτηρίζονται μέτρια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με προφύλαξη σε εδάφη, που αποστραγγίζονται καλά, ενώ όσον αφορά την δεύτερη κατηγορία, το καρστικό νερό της πηγής του Αγ. Αντωνίου χαρακτηρίζεται κακής ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ελαφρά εδάφη, που αποστραγγίζονται εύκολα (Σχ. 9.4). Τέλος, το νερό της παράκτιας καρστικής πηγής Ρήνα χαρακτηρίζεται ακατάλληλο για άρδευση, λόγω της υψηλής αλατότητας, αλλά εμφανίζει και μια τιμή του συντελεστή SAR= 16,1.

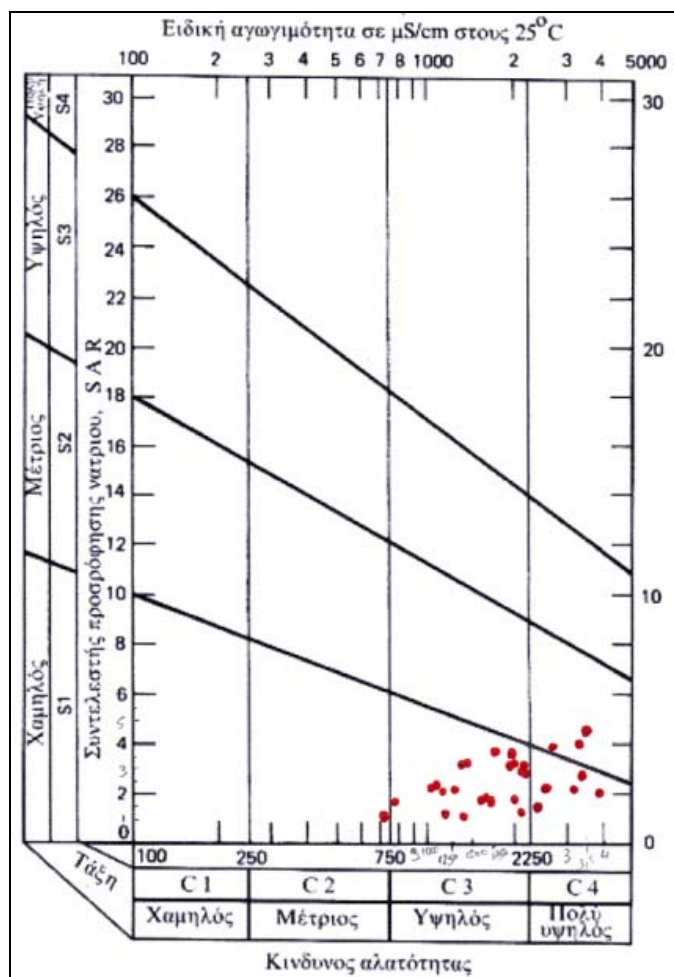


**Σχήμα 9.4:** Ταξινόμηση των υπόγειων νερών που προέρχονται από τις αλλουβιακές αποθέσεις και από τους καρστικούς υδροφόρους της περιοχής για την εκτίμηση της καταλληλότητάς τους για άρδευση.

Τα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων αντιπροσωπεύονται από τριάντα τρία δείγματα νερού, απ' τα οποία μόνο ένα δείγμα νερού ( $\Delta 38$ ) τοποθετείται εκτός διαγράμματος, λόγω της υψηλής τιμής αγωγιμότητας ( $6000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) και χαρακτηρίζεται

ακατάλληλο για άρδευση, λόγω της υψηλής αλατότητας και της μεγάλης τιμής SAR (8,8). Τα υπόλοιπα δείγματα νερού διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες: α) C4.S2: (Δ3, Δ14, Δ33), β) C4.S1: (Δ2, Δ9, Δ10, Δ20, Δ36), γ) C3.S1 (Δ1, Δ2, Δ4, Δ8, Δ13, Δ15, Δ18, Δ21, Δ23, Δ24, Δ28, Δ30, Δ32, Δ34, Δ35, Δ37, Δ42) και δ) C2.S1 (Δ29).

Η πρώτη κατηγορία χαρακτηρίζεται ως ένα αρδευτικό νερό κακής ποιότητας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ελαφρά εδάφη, που αποστραγγίζονται καλά. Η δεύτερη κατηγορία χαρακτηρίζεται από νερά κακής ποιότητας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ελαφρά εδάφη, που αποστραγγίζονται καλά. Η τρίτη κατηγορία χαρακτηρίζεται από πολύ μέτρια νερά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέτρα προφύλαξης σε εδάφη, που αποστραγγίζονται καλά. Η τέταρτη κατηγορία χαρακτηρίζεται από ένα μέτριο νερό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προφύλαξη σε βαριά εδάφη, αλλά και, χωρίς προφύλαξη, σε ελαφρά εδάφη (Σχ. 9.5).



**Σχήμα 9.5:** Ταξινόμηση των υπόγειων νερών που προέρχονται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της περιοχής για την εκτίμηση της καταλληλότητας τους για άρδευση.

Γενικά, επειδή τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται από την υψηλή αλατότητα και όχι από τον δείκτη SAR, πρέπει να γίνει κοκκομετρική ανάλυση των εδαφών, για να δούμε το ποσοστό της αργίλου, μέσα σε αυτά και για να μπορέσουμε να τα προσδιορίσουμε ως προς την περατότητα τους. Επίσης πρέπει να πραγματοποιηθεί γεωχημική εξέταση των εδαφών για να προσδιοριστεί η αλατότητα τους, γιατί στη περίπτωση, που έχουν μεγαλύτερη αλατότητα από αυτή του νερού, υπάρχει κίνδυνος αποκροκίδωσης, ενώ, στην αντίθετη περίπτωση, δεν υπάρχει. Επίσης, τα νερά με την υψηλή αλατότητα μπορούν να μεταφέρουν γρήγορα ρύπους στον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα, αλλά και να δημιουργήσει προβλήματα στο ριζικό σύστημα και να μην μπορούν να αναπτυχθούν σωστά (<http://waterquality.montana.edu>, Jayasekera et al, 2010).

Τέλος, σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των αρδευτικών νερών παίζουν και τα ιχνοστοιχεία, τα οποία, σε ορισμένες συγκεντρώσεις, μπορούν να αποβούν τοξικά για τα φυτά. Συγκεκριμένα, τα συνιστώμενα όρια των ιχνοστοιχείων, στο αρδευτικό νερό, σύμφωνα με U.S.N.A.Sc και U.S.N.A. Eng (1972), είναι 0,01 mg/l για το κάδμιο, 0,1 mg/l για το χρώμιο, 0,05 mg/l για το κοβάλτιο, 0,2 mg/l για τον χαλκό, 5 mg/l για το σίδηρο, 0,2 mg/l για το μαγγάνιο, 0,2 mg/l για το νικέλιο και 2 mg/l για τον ψευδάργυρο (Καλλέργης, 2000), τα οποία, αν συγκριθούν με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης (Παράρτημα - Πίνακας 10), παρατηρούμε ότι υπερβαίνουν τα όρια για το νικέλιο, το χρώμιο, το κάδμιο και το κοβάλτιο. Αυτό το γεγονός, τα καθιστά ακατάλληλα για άρδευση, ακόμα και τα καλύτερα υπόγεια νερά, σύμφωνα με τα διαγράμματα Richards.

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα ετήσια ανανεώσιμα δυναμικά υδατικά αποθέματα εκτιμήθηκαν σε  $1.178.268\text{m}^3$ , χωρίς να υπολογιστούν οι απώλειες προς την θάλασσα.
- Το υδρολογικό ισοζύγιο εκτιμήθηκε σε 66,8% για την εξατμισοδιαπνοή, σε 18,5% για την απορροή και σε 14,7% για την κατείδυση.
- Τα δείγματα υπόγειου νερού παρουσιάζουν: α) αλκαλικό χαρακτήρα, β) υψηλή έως πολύ υψηλή σκληρότητα, γ) υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, δ) υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων.
- Απ' την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των υδροχημικών αναλύσεων της παρούσας έρευνας, προκύπτει ότι: α) η χημική σύσταση των νερών ανταποκρίνεται στη λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών, β) η ανομοιογένεια του υπόγειου νερού αντικατοπτρίζεται στην εμφάνιση πολλών υδροχημικών τύπων, γ) το TDS συνδέεται με την υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο και νάτριο από τα κατιόντα, ενώ από τα ανιόντα με το χλώριο και τα όξινα ανθρακικά ιόντα. Το χλώριο και το νάτριο συνδέεται με την διείσδυση της θάλασσας. Το ασβέστιο και τα όξινα ανθρακικά ιόντα συνδέονται με την διάλυση των ανθρακικών αλάτων και δ) γενικά, οι υψηλές τιμές της αλατότητας έχουν την τάση να αυξάνονται εκεί, που η μετακίνηση και η ανανέωση του υπόγειου νερού είναι αργή και η διείσδυση της θάλασσας είναι μεγαλύτερη.
- Με βάση τα διαγράμματα Piper, η πλειοψηφία των δειγμάτων απ' τις αλλουβιακές αποθέσεις ανήκει στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα στην ομάδα των θεικών, εκτός από ένα δείγμα (Δ25), το οποίο ανήκει στην κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα στην ομάδα των χλωριοθεικών. Όσον αφορά τα δείγματα, απ' τις πηγές Παναγίες( Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8-Δ41), ανήκουν στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών, με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, και συγκεκριμένα στην ομάδα των οξυανθρακικών νερών. Οι πηγές Αγ. Αντώνιος (Δ39) και Ρήνα (Δ40) ανήκουν στην ομάδα των αλκαλικών νερών και ειδικότερα στην ομάδα των χλωριοθεικών. Τα υπόγεια νερά των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) τη κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και συγκεκριμένα η ομάδα των οξυανθρακικών ή των θεικών β) στη κατηγορία των αλκαλικών νερών και συγκεκριμένα στην ομάδα των χλωριοθεικών.
- Με βάση τα διαγράμματα Durov, οι γενικοί υδροχημικοί τύποι είναι: α)  $\text{Ca-HCO}_3$ , για τα φρέσκα νερά, τα οποία εμφανίζονται κυρίως στα υψηλότερα τοπογραφικά σημεία, στα οποία υπάρχουν ανθρακικά πετρώματα β)  $\text{Mg-HCO}_3$ , σ' αυτά επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και λαμβάνει χώρα κυρίως στην ενδοχώρα της περιοχής, γ)  $\text{Mg-Cl}$  και  $\text{Ca-Cl}$ , που φανερώνουν ότι το φαινόμενο της αντίστροφης



κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και δ) Na-Cl, που δείχνουν τελικά νερά πεδίου ροής. Οι δύο τελευταίες ομάδες εμφανίζονται κυρίως στην παράκτια ζώνη, φανερόντας την διείσδυση θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς.

- Εντοπίζονται περιοχές με ποιοτικά υποβαθμισμένα νερά (υποβάθμιση η οποία σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά το όριο ποσιμότητας), λόγω υψηλών συγκεντρώσεων στα κύρια στοιχεία και στα βαρέα μέταλλα, τα δε αίτια της υποβάθμισης είναι δυνατό να αποδοθούν σε: α) φυσικά αίτια γεωγενούς προέλευσης, β) αίτια ανθρωπογενούς παρέμβασης στο ποιοτικό υδρολογικό κύκλο (κυρίως διαρροές απ' τα δίκτυα αποχέτευσης και ρίψη διαφόρων λυμάτων σε απορροφητικούς βόθρους με υψηλές τιμές περιεκτικότητας των δεικτών ρύπανσης, όπως είναι τα  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , γ) αίτια ανθρωπογενούς παρέμβασης στο ποσοτικό υδρολογικό κύκλο, μέσω υπεραντλήσεων στη παράκτια ζώνη, αλλά και σε άλλες περιοχές, η οποία καταλήγει τελικά όμως σε ποιοτική, μέσω της επακόλουθης διείσδυσης θαλασσινού νερού, κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις, που είναι απομακρυσμένες από τις ακτές, αλλά και στα υδροφόρα στρώματα της ενδοχώρας με κυριότερο δείκτη ανίχνευσης τα ιόντα χλωρίου. Επίσης, οι υψηλές περιεκτικότητες ιόντων μαγνησίου και θεικών ιόντων αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, διαπιστώνεται, ότι η παράκτια ζώνη, της υπό μελέτης περιοχής, έχει επιβαρυνθεί ποιοτικά απ' τη διείσδυση της θάλασσας.
- Τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις στις παραλιακές ζώνες των περιοχών Δρυμόνα, Γούρνα, Αγ. Μαρίνα και τοπικά στη περιοχή Καμάρα.
- Τα θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις, στις ίδιες περιοχές, με τις παραπάνω, εκτός απ' την περιοχή Καμάρα.
- Τα αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις στις περιοχές Αγ. Μαρίνα και Γούρνα.
- Τα φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις στις περιοχές Αγ. Μαρίνα και Δρυμόνα, χωρίς προς το παρόν να υποβαθμίζουν τα υπόγεια νερά.
- Ο παράγοντας I, της factor analysis, συνδέεται με την υφαλμύρωση των υδροφόρων οριζόντων απ' την διείσδυση της θάλασσας.
- Ο παράγοντας II, της factor analysis, συνδέεται με τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων.
- Οι παράγοντες III και IV της factor analysis, συνδέονται με την παρουσία των βαρέων μετάλλων, μαγγανίου, χρωμίου, καδμίου και σιδήρου και φανερώνουν την γεωγενή προέλευσή τους.
- Στη περιοχή μελέτης εμφανίζονται καλής ποιότητας νερά, όσον αφορά τα κύρια στοιχεία, κυρίως στις πηγές (εκτός Αγ. Αντωνίου και Ρήνας), αλλά και στα υψηλότερα τοπογραφικά σημεία της περιοχής του κεντρικού τμήματος της νήσου Λέρου. Αυτά αντιπροσωπεύουν το

33,3% των συνολικών δειγματοληψιών, αλλά εμφανίζουν πρόβλημα στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, τα οποία υπερβαίνουν τα όρια, που θέτει η Ε.Ε.

- Η πλειοψηφία των υπόγειων νερών κρίνονται ακατάλληλα για αρδευτική χρήση, λόγω της υψηλής αλατότητας, που εμφανίζουν. Αυτά ανήκουν στις ομάδες υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου, ως προς την αλατότητα και όσον αφορά τον δείκτη SAR, ανήκουν στις ομάδες χαμηλού και μέτριου κινδύνου. Ορισμένα νερά της περιοχής χαρακτηρίζονται ως προς την αλατότητα τους καλά νερά, όπως το καρστικό νερό των πηγών Παναγίες (Π5-Δ22) και Συκίδια (Π8-Δ41), αλλά αυτά εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και θεωρούνται ακατάλληλα για αρδευτική χρήση.
- Γενικά, τα βαρέα μέταλλα, που εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, όσον αφορά τα όρια για το πόσιμο και για το αρδευτικό νερό, είναι το χρώμιο, το κάδμιο, το κοβάλτιο και νικέλιο. Συγκεκριμένα, το νικέλιο, το χρώμιο και κοβάλτιο (δεν δίνονται ανώτατα επιτρεπτά όρια από την Ε.Ε) εμφανίζονται σε όλα τα δείγματα υπόγειου νερού, με βάση τα όρια, που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό. Ενώ κοβάλτιο και χρώμιο εμφανίζονται σ' όλα τα δείγματα υπόγειου νερού, με βάση τα όρια που θέτει η U.S.N.A. Eng (1972) για το αρδευτικό νερό.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Adomako D., Osae S., Akiti T., Faye S., Maloszewski P., 2010**, Geochemical and isotopic studies of groundwater conditions in the Dencu River Basin of Ghana, Environ Earth Sci.
- Appelo. C, Postma. D, 1993**, Geochemistry Droundwater and Pollution, Balkema-Rotterdam, Netherlands, 271-285 pp.
- Brassington Rick, 1998**, Field Hydrogeology, John Wiley & Sons, England, 63 pp.
- Βουδούρης. Κ, 2009**, Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια Νερά & Περιβάλλοντος, Τζίοια, Θεσσαλονίκη, σελ: 73-132, 158-177.
- Council directive of 15 July 1980** relating to the quality of water intended for human consumption (80/778/EEC), Official journal of the European Communities.
- Γερολυμάτος Ηλ., Σταυρόπουλος Α., 1999**, Γεωλογικό φύλλο ΙΓΜΕ: Νήσοι Λέρος-Λέβιθα-Κίναρος 1: 50.000, ΙΓΜΕ.
- Γιαννουλόπουλος Π., Λάππας Ι., 2010**, Υδρογεωλογική μελέτη - Υδατικό διαμέρισμα νήσων Αιγαίου (14),Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα, 196-207.
- Γιαννουλόπουλος Π., 2010**, Έκθεση επί των αποτελεσμάτων της ερευνητικής υδρογεώτρησης της ΔΕΥΑΛ του Δ. Λέρου, Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα, σελ: 2-11.
- Γκάρτζος Ευθ., Παυλόπουλος. Αντ., Σερέλης. Κ., Σταμάτης Γ., 2009**, Στοιχεία Γεωλογίας - Γεωμορφολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σελ: 80-83.
- Davis. St, De Wiest. R, 1966**, Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York. London. Sydney,97-127 pp.
- Dennis Howitt και Duncan Cramer, 2010**, Στατιστική με το SPSS 16, Κλειδάριθμος, Αθήνα, σελ: 277-287.
- Ζήσου. Αν, 2010**, Οι Επεκτάσεις του ArcGis-Spatial Analyst-3D Analyst-Θεωρία & Εφαρμογές, ΑΘ. Σταμούλης, Αθήνα, σελ: 47-51, 90-92, 223-225
- Ζήσου. Αν, 2007**, Εισαγωγή στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGis/ArcView-Θεωρία & Εφαρμογές, ΑΘ. Σταμούλης, Αθήνα, σελ: 77-81, 93-101, 133-159, 161-174, 225-253.
- Jayasekera D., Kaluamarachi J., Villholth K., 2010**, Groundwater stress and vulnerability in rural coastal aquifers under competing demands: a case study from Sri Lanka, Environ Monit Assess.
- Katagas Ch., Sapoutzis E., 1977**, Petrochemistry of metasedimentary rocks from Leros island (Greece) and its effects on the appearance of cloritoid, staurolite and Kyanite, N. J. Miner. Abh., 129: 100-112.
- Katagas C., Sapoutzis E., 1977**, Petrochemistry of Low and Medium Grade Mafic Metamorphic Rocks from Leros Island, Greece, Tschermarks Min. Petr. Mitt., 24: 39-55.

- Katagas C., 1974**, Alkali Amphiboles Intermediate in Composition between Actinolite and Riebeckite, *Contr. Mineral. And Petrol*, 46: 257-264.
- Katagas C., 1980**, Metamorphic Zones and Physical Conditions of metamorphism in Leros island, Greece, *Contr. Mineral. And Petrol*, 73: 389-402.
- Κατσικάτσος Γ., 1992**, Γεωλογία της Ελλάδας Αθήνα, σελ:28-100.
- Καλλέργης Γ., 2000**, Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία (Δεύτερη Έκδοση- Β' Τόμος),Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σελ: 25-121.
- Καλλέργης Γ., 2001**, Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία (Δεύτερη Έκδοση- Γ' Τόμος),Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σελ: 1-48, 53-133.
- Κωτσόπουλος Σ.,2006**, Υδρολογία, ΙΩΝ, Περιστερί- Αθήνα, σελ: 51-53, 161-163.
- Luigi Tulipano, 2005**, Groundwater management in small islands: the example of Leros (Dodecanese-Hellas), 7th Hellenic hydrogeological conference - 2nd Mem workshop on fissured rocks hydrology (volume II), Athens, 329-334 pp.
- Λαμπράκης Γ., 2005**, Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ: 75-88.
- Μηλιαρέσης Γ., 2006**, Ειδικές Εφαρμογές στο ArcGis, ΙΩΝ, Περιστερί - Αθήνα, σελ: 169-180, 227-233.
- Μηλιαρέσης Γ., 2004**, Εργαστηριακές σημειώσεις στο πρόγραμμα Terrain Analysis System, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Μουντράκης Δ., 2010**, Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας,University Studio Press, Θεσσαλονίκη105-119.
- Μπόβη Κ., 1991**, Θρέψη του Φυτού, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σελ: 17-24.
- Papaiouannou A., Dovriki E., Rigas P., Plageras P., Rigas I., Kokkora M., Papastergiou P., 2010**, Assessment and Modelling of Groundwater Quality Data by Environmetric Methods in the Context of Public Health, *Water Resour Manage*, 24: 3257-3278.
- Petalas Chr., Pisinaras V., Gemitzi Al., Tsihrintzis V., Ouzounis K., 2009**, Current conditions of saltwater intrusion in the coastal Rhodope aquifer system, northeastern Greece, *Desalination* , 237: 22-41.
- Rogerson P., 2001**, Statistical methods of Geography, Sage publications, London, 193-207 pp.
- Sapountzaki K., Wassenhoven L., 2005, Consensus building and sustainability: some lessons from an adverse local experience in Greece, *Environment, Development and Sustainability*, 7: 433-452.
- Singhal B., Gupta R., 1999**, Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 227-236, 283-286 pp.

- Sioulas A., Anagnostou Ch., Karageorgiou A., Gerolymatos I., 1998**, Study of the Lakki bay surface sediments, Leros island, se aegean sea. Sedimentology, meneralogy and geochemistry, Bulletin of Geological Society of Greece vol. XXXII/2 : 183-191.
- Shaw G., Wheeler D., 1985**, Statistical Techniques in Geographical Analysis, John Wiley & Sons, Great Britain, 273-295 pp.
- Stamatis G., Parpodis K., Filintas A., Zagana E., 2011**, Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neogene sediments of an agricultural region in central Thessaly (Greece), Environ Earth Sci.
- Σούλιος, Γ, 2010**, Γενική Υδρογεωλογία - Πρώτος Τόμος: Α. Επιφανειακή Υδρογεωλογία. Β. Αποθήκευση και Κατανομή του Υπόγειου Νερού. Γ. Οι Ροές του Υπόγειου Νερού, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ: 27-123 και 275-293.
- Σούλιος, Γ, 2010**, Γενική Υδρογεωλογία – Δεύτερος Τόμος- Ζ. Ποιότητα Υπόγειου Νερού. Η. Ρύπανση-Μόλυνση Υπόγειου Νερού, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ: 19-45 και 51-73.
- Σούλιος, Γ, 2010**, Γενική Υδρογεωλογία – Δεύτερος Τόμος-Αποθέματα και Διαχείριση του υπόγειου νερού, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ: 55-64.
- Συμβουλίδου Ε., Φωτεινού Μ., Βλαχόπουλος Ν., 2008**, Μελέτη: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο και Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π Δήμου Λέρου – Στάδιο Β2 Σύμφωνα με τις 4/2008 και 38/2008 Αποφάσεις του Δ.Σ. Λέρου, σελ: 3-100.
- Ταβουλάρης, Ν, 2006**, Η επίδραση των υδροθειούχων γεωθερμικών ρευστών Σουσακίου (Ν. Κορινθίας) στην ποιοτική σύσταση των υδροφόρων οριζόντων της ευρύτερης περιοχής και οι επιπτώσεις στα τεχνικά έργα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Τσαϊλά - Μονόπωλη, 1997**, Σημειώσεις Ιστορικής Γεωλογίας,, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ: 30-48.
- Τσακίρης Γ., 2004**, Σημειώσεις: Υδατικοί πόροι-Ποιότητα αρδευτικού νερού, Ε.Μ.Π., Αθήνα. Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001. «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου1998», Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, τεύχος δεύτερο, Αρ. Φύλλου 630.
- Φλόκας Απ., 1997**, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ: 302-315.
- Φρυδάς Δ., 2005**, Σημειώσεις στο μάθημα Στρωματογραφία & Ιστορική Γεωλογία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ: 20-25.
- Χατζηπαναγιώτου. Κ., 2003**, Πετρογραφία ΙΙ., Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ: 152-159.

**Δ.Ε.Υ.Α.Α. 2010**, Χημικές αναλύσεις της γεώτρησης και δεξαμενής Σμαλού για την περίοδο 2004-2010 (ΔΕΥΑΑ). Αρ. Πρωτ. Δειγματοληψίας-Ημερομηνία: 7/22-03-2004, 19/7-6-2005, 6/13-06-2006, 6/10-07-2007, 13/10-09-2008, Δ2/28-9-2009, Δ5/27-9-2010

**Ψιλοβίκος Α. Ζαρκάδας Π.**, Μοντέλο προσομοίωσης υδατικού υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Πίνακας 1:** Η απογραφή του μόνιμου και πραγματικού πληθυσμού του Δημοτικού Διαμερίσματος Λέρου.

Σύνολο Ελλάδος, νομοί, δήμοι/κοινότητες, δημοτικά/κοινοτικά διαμερίσματα και οικισμοί	Μόνιμος πληθυσμός		Πραγματικός πληθυσμός	
	2001	1991	2001	1991
<b>Δ. Δ. Λέρου</b>				
Αγία Μαρίνα	2.703	2.597	2.672	2.493
Άλινδα	539	418	542	421
Αρχάγγελος (νησί)	0	0	0	0
Βελόνα (νησί)	0	0	0	0
Γλάρος (νησί)	0	0	0	0
Γούρνα	281	245	292	247
Δρυμώνας	213	143	212	142
Καμάρα	563	445	573	444
Κίναρος (νησί)	2	2	2	2
Κόκκαλη	155	104	154	106
Λακκί	1.970	2.277	1.990	2.366
Λέβιθα (νησί)	9	0	8	0
Μαύρα, (νησιά)	0	0	0	0
Μεγάλο Λιβάδι (νησί)	0	0	0	0
Ξερόκαμπος	881	1.135	908	1.142
Παρθένι	242	298	240	298
Πηγανούσσα (νησί)	0	0	0	0
Πλάκα (νησί)	0	0	0	0
Πλάκες	142	0	143	0
Στρογγυλή (νησί)	0	0	0	0
Τεμένια	398	398	397	400
Τρυπητή (νησί)	0	0	0	0
Φαρμακονήσι (νησί)	74	0	74	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>8.172</b>	<b>8.062</b>	<b>8.207</b>	<b>8.061</b>

**Πίνακας 2:** Η παρουσίαση των υδροσημείων, στα οποία μετρήθηκε η πιεζομετρική επιφάνεια.

a/a	Σημεία Δειγμ/ψίας	Είδος Υδροσημείου	X	Y	Απ. Υψόμετρο	Στάθμη νερού (m)	Απ. Υψ. Πιεζ/κής. Επιφάνειας (m)
12	Δ42	Πηγάδι	753837	4115177	10	4.5	5.5
17	Δ3	Πηγάδι	751440	4116260	17	6.5	10.5
24	Δ4	Πηγάδι	750535	4116393	37	3	34
45	Δ9	Πηγάδι	750348	4115970	22	6	16
47	Δ10	Πηγάδι	750205	4115747	8	8	0
58	Δ11	Πηγάδι	751106	4115464	4	2.8	1.2
60	Δ12	Πηγάδι	751274	4116047	24	5	19
64	Δ13	Πηγάδι	751172	4117133	52	2	50

65	Δ14	Πηγάδι	751118	4116995	17	6	11
67	Δ15	Πηγάδι	750945	4116916	40	7.5	32.5
68	Δ16	Πηγάδι	750901	4117141	44	4	40
72	Δ17	Πηγάδι	751178	4116555	35	9	26
73	Δ18	Πηγάδι	751339	4116856	16	3.2	12.8
74	Δ19	Πηγάδι	751534	4116725	3	3	0
77	Δ20	Πηγάδι	751695	4117197	30	19	11
78	Δ21	Πηγάδι	751604	4117184	33	1.5	31.5
86	Δ36	Πηγάδι	752592	4115628	12	9	3
87		Πηγάδι	752579	4115589	12	10	3
88		Πηγάδι	752222	4115610	16		10.7
89	Δ35	Πηγάδι	751926	4115664	22	1.2	20.8
90	Δ37	Πηγάδι	752010	4115682	13	3.9	9.1
91		Πηγάδι	752128	4115714	11		4.5
92	Δ34	Πηγάδι	752090	4115433	28	2.1	25.9
93		Πηγάδι	752245	4115462	28		25.7
94		Πηγάδι	752239	4115671	3		1
95		Πηγάδι	751601	4114921	8	11	0
96		Πηγάδι	751575	4114886	8	10	0
97		Πηγάδι	751676	4114969	16	11	6
98	Δ31	Πηγάδι	751390	4113845	30	1.4	28.6
99	Δ33	Πηγάδι	752042	4114955	19	8	11
101		Πηγάδι	751783	4114766	18		12.3
102	Δ26	Πηγάδι	751213	4114322	15	7	8
103	Δ25	Πηγάδι	750588	4114057	3	2	1
104		Πηγάδι	750791	4113975	14		5.2
105	Δ28	Πηγάδι	750767	4113902	8	8	0
107		Πηγάδι	751514	4113915	57	10	51.5
108	Δ30	Πηγάδι	751660	4113831	59	6	53
109	Δ29	Πηγάδι	751578	4113652	65	5	60
110		Πηγάδι	751554	4115155	17	10.5	8
111		Πηγάδι	751439	4115150	7		4.7
112	Δ27	Πηγάδι	751434	4115225	14	14	0
113		Πηγάδι	751350	4115304	5	4.5	2.8
114		Πηγάδι	751307	4115385	5	4.5	2.7
115		Πηγάδι	753221	4115653	19	13	9
116		Πηγάδι	753260	4115758	6	5	2.5
117		Πηγάδι	753241	4115710	7	5	2.5
118	Δ38	Πηγάδι	753376	4115759	13	5	8
119		Πηγάδι	752800	4115688	12		4.5
120		Πηγάδι	752683	4115457	31	22	11
121		Πηγάδι	751281	4115750	6	11	0.3
122		Πηγάδι	751489	4115188	10	15	0.5



**Πίνακας 3:** Από τα ογδόντα πέντε (85) υδροσημεία, που απογράφηκαν, επιλέχτηκαν τα 28 σημεία για δειγματοληψία (κόκκινοι χαρακτήρες).

ΑΠΟΓΡΑΦΗ (20/4/2011 έως τις 30/4/2011)										
α/α	Σημεία Δειγμ/ψίας	Είδος	X	Y	ύψος (m)	Accuracy (m)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Αλατότητα (sal)	Θερμοκρασία (°C)	Συν. Αλατότητα (mg/l)
1		Γεώτρηση	753792	4115246	6	17.8	2650	1.2	18.5	1360
2	Δ1	Γεώτρηση	749909	4116715	50	8.5	846	0.2	21.5	443
3	Δ40	Πηγή	748762	4118967	11	8.9	3100	1.5	20.4	1630
4		Γεώτρηση	748281	4118172	23	5.2	1793	0.7	19.9	948
5	Δ2	Γεώτρηση	749497	4116464	139	11.5	1010	0.3	20.1	532
6		Πηγάδι	750273	4115772	15	6.4	1770	0.7	20.5	930
7		Πηγή	753700	4115084	39	7.6	2250	1	18.1	1190
8		Πηγάδι	753928	4115114	5	4.1	2680	1.3	23.8	1402
9		Πηγάδι	753855	4115232	13	3.5	3850	2	17.2	
10		Πηγάδι	753857	4115164	11	5	2020	0.9	17	1070
11		Πηγάδι	753655	4115314	31	8.9	2990	1.5	19	1573
12	Δ42	Πηγάδι	753837	4115177	10	9.2	1481	0.6	18.3	782
13		Πηγάδι	753874	4115181	8	7.6	1937	0.8	19.5	1020
14		Πηγάδι	754017	4115098	1		2500	1.2	17.2	1322
15		Πηγάδι	753911	4115092	4	7.3	2000	0.9	20.1	1054
16		Πηγάδι	751269	4116265	31	5.2	2220	1	22.1	1162
17	Δ3	Πηγάδι	751440	4116260	17	5.3	2610	1.2	20	1378
18		Πηγάδι	750768	4116164	27	4.5	1755	0.7	17.2	927
19		Πηγάδι	750835	4116209	28	4.8	2190	1	19	1155
20		Γεώτρηση	750873	4116277	34	5.3	2280	1	21.7	1191
21		Γεώτρηση	750951	4116267	35	4.4	1763	0.7	21.4	925
22		Γεώτρηση	750792	4116379	40	4	1666	0.7	22	873
23		Πηγάδι	750677	4116316	35	5	1523	0.6	20	800
24	Δ4	Πηγάδι	750535	4116393	37	5.3	1043	0.3	19.3	548

25		Πηγάδι	750512	4116334	33	5.2	1083	0.3	19	570
26		Πηγάδι	750439	4116339	32	5.2	1590	0.6	18.8	839
27		Πηγάδι	750457	4116239	27	8.3	1870	0.8	17.7	990
28		Πηγάδι	750381	4116285	30	8.4	3020	1.5	21.9	1595
29		Πηγάδι	750266	4116261	27	5.1	1325	0.5	20.7	701
30		Πηγάδι	750410	4116214	28	4.4	1330	0.5	20	700
31		Πηγάδι	750695	4116129	32	5.3	4190	2.2	20.8	
32		Πηγάδι	750381	4116167	24	5.4	1939	0.8	20.4	1027
33		Πηγάδι	751125	4116100	18	4.7	2180	1	19.6	1144
34		Πηγάδι	750935	4116180	25	9.2	1470	1.3	20.7	
35	Δ5	Πηγάδι	750995	4116081	12	6.3	1707	0.7	19.6	899
36	Δ6	Γεώτρηση	750583	4116324	37	5.8	1551	0.6	21.3	812
37		Γεώτρηση	749789	4116919	60	4.8	735	0.1	20.6	386
38	Δ7	Γεώτρηση	750127	4117404	106	6	814	0.2	19.8	428
39	Δ8	Γεώτρηση	749850	4116997	70	5.5	1116	0.3	21.3	585
40		Γεώτρηση	749547	4116909	67	5	1220	0.4	20.5	640
41		Γεώτρηση	749558	4117072	70		1046	0.3	20.4	549
42		Γεώτρηση	749440	4117343	43	10.5	1180	0.4	22.2	619
43		Πηγάδι	749596	4117216	55	5.2	1957	0.8	18	1033
44		Πηγάδι	750439	4116143	22	4.3	2100	0.9	19.7	1102
45	Δ9	Πηγάδι	750348	4115970	22	4.5	1708	0.7	20.6	894
46		Πηγάδι	750299	4115879	13	4.7	1800	0.7	21.3	945
47	Δ10	Πηγάδι	750205	4115747	8	7.4	1942	0.8	21.2	1018
48		Πηγάδι	750265	4115721	6	4.2	1798	0.7	20.9	944
49		Πηγάδι	750194	4115649	7	4.5	1903	0.8	19.3	1002
50		Πηγάδι	749854	4115786	24	4	1084	0.3	20.3	520
51		Πηγάδι	749775	4115799	26	5.1	1102	0.3	19.5	578
52		Πηγάδι	749584	4115967	54	9.6	717	0.1	19.1	378

53		Πηγάδι	749878	4115708	20	5.4	1208	0.4	20.2	639
54		Πηγάδι	749874	4115603	3	4.3	2640	1.4	19.7	1509
55		Πηγάδι	751221	4115821	15	4.5	2090	0.9	18.5	1100
56		Πηγάδι	751162	4115596	7	4.5	2180	1	18.1	1147
57		Γεώτρηση	751120	4115631	13	4.5	2000	0.9	17.8	1056
58	Δ11	Πηγάδι	751106	4115464	4	4.3	4680	2.5	18.2	
59		Πηγάδι	750944	4115322	3	6.3	4350	2.3	18.8	
60	Δ12	Πηγάδι	751274	4116047	24	5.1	3040	1.5	18.5	1607
61		Πηγάδι	751273	4117036	20	8.5	1226	0.4	18.9	646
62		Πηγάδι	751191	4117030	28	9.1	2250	1	19.1	1185
63		Πηγάδι	751165	4116849	23	7.4	687	0.1	18.4	363
64	Δ13	Πηγάδι	751172	4117133	52	5.2	988	0.3	19.7	520
65	Δ14	Πηγάδι	751118	4116995	17	6.1	2620	1.2	19.9	1370
66		Πηγάδι	751087	4116923	28	7.4	1221	0.4	18.6	643
67	Δ15	Πηγάδι	750945	4116916	40	5.1	718	0.1	20	377
68	Δ16	Πηγάδι	750901	4117141	44	5.1	1675	0.7	19.6	882
69	Δ24	Πηγάδι	751273	4116628	18	6.2	1334	0.5	20.1	701
70		Πηγάδι	751169	4116687	37	6.2	782	0.1	20.2	411
71		Πηγάδι	751043	4116610	35	5.1	965	0.3	20	508
72	Δ17	Πηγάδι	751178	4116555	35	5.9	1491	0.6	20.4	784
73	Δ18	Πηγάδι	751339	4116856	16	4	1554	0.6	20.5	816
74	Δ19	Πηγάδι	751534	4116725	3	4.2	3160	1.6		1668
75		Πηγάδι	751225	4116684	5	4.2	1733	0.7	19	914
76		Πηγάδι	751734	4117242	33		2480	1.1	21.2	1300
77	Δ20	Πηγάδι	751695	4117197	30	5.3	2040	0.9	21.1	1068
78	Δ21	Πηγάδι	751604	4117184	33	8.9	1425	0.5	21.5	747
79		Πηγάδι	751813	4117199	32	7.3	3120	1.5	22.5	1635
80		Γεώτρηση	751874	4117247	24	5	1540	0.6	22.5	804

81	Δ39	Πηγή	752894	4115570	39	8.4	2580	1.2	19.1	1358
82		Πηγή	752341	4116965	6	5	533	0	18.8	281
83	Δ22	Πηγή	752507	4117146	11	10.8	575	0	19.8	303
84	Δ23	Πηγή	751254	4113863	34	8.9	802	0.2	18.8	422
85	Δ41	Πηγή	754309	4115133	20	6	565	0	18.3	420

**Πίνακας 4Α:** Από τα είκοσι έξι (26) υδροσημεία, που απογράφηκαν, επιλέχτηκαν τα 14 σημεία για δειγματοληψία (κόκκινοι χαρακτήρες).

ΑΠΟΓΡΑΦΗ (10/7/2011 έως τις 14/7/2011)										
α/α	Σημεία Δειγμ/ψίας	Είδος	X	Y	ύψος (m)	Accuracy (m)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Αλατότητα (sal)	Θερμοκρασία (°C)	Συν. Αλατότητα (mg/l)
86	Δ36	Πηγάδι	752592	4115628	12	10.7	2550	23.8	1.2	1346
87		Πηγάδι	752579	4115589	12	6.9	2150	21.4	1	1209
88		Πηγάδι	752222	4115610	16	5.9	1857	20.3	0.8	1068
89	Δ35	Πηγάδι	751926	4115664	22	6.3	1736	25.4	0.7	891
90	Δ37	Πηγάδι	752010	4115682	13	5.3	1453	21.2	0.6	819
91		Πηγάδι	752128	4115714	11	4.7	1480	22.8	0.6	805
92	Δ34	Πηγάδι	752090	4115433	28	6.4	1344	23.4	0.5	722
93		Πηγάδι	752245	4115462	28	7.5	1840	25.2	0.8	950
94		Πηγάδι	752239	4115671	3	6.9	3210	21.4	1.7	1797
95		Πηγάδι	751601	4114921	8	7	1110	22.1	0.4	614
96		Πηγάδι	751575	4114886	7	4.3	2100	21.4	1	1176
97		Πηγάδι	751676	4114969	16	4.5	1636	22.2	0.7	888
98	Δ31	Πηγάδι	751390	4113845	30	4.6	991	19.9	0.3	575
99	Δ33	Πηγάδι	752042	4114955	19	5.9	2000	22.2	0.9	1102
100	Δ32	Πηγή	752133	4114985	34	6.9	922	21.9	0.3	512
101		Πηγάδι	751783	4114766	18	6.1	3270	21.9	1.7	1814
102	Δ26	Πηγάδι	751213	4114322	15	7.6	3050	22.7	1.6	1661
103	Δ25	Πηγάδι	750588	4114057	3	4.2	6480	24.7	3.5	
104		Πηγάδι	750791	4113975	14	5.2	1455	21.4	0.6	816
105	Δ28	Πηγάδι	750767	4113902	8	7.3	1450	22.1	0.6	814
106		Γεώτρηση	751152	4114093	30	8.7	3850	23.1	2	
107		Πηγάδι	751514	4113915	57	9.5	1160	21.5	0.4	650

a/a	Σημεία Δειγμ/ψίας	Είδος	X	Y	ύψος (m)	Accuracy (m)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Αλατότητα (sal)	Θερμοκρασία (°C)	Συν. Αλατότητα (mg/l)
108	Δ27	Πηγάδι	751434	4115225	14	4,2	4300	2,4	22	
109	Δ29	Πηγάδι	751578	4113652	65	5,7	640	0,1	21,3	359
110	Δ30	Πηγάδι	751660	4113831	59	4	1780	0,8	21,9	986
111	Δ38	Πηγάδι	753376	4115759	13	5,6	5320	3,1	20,9	

**Πίνακας 4B:** Περιγραφή των σημείων υδροληψίας ως προς το είδος, την περιοχή, τις συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87, απ. υψόμετρο, βάθος, στάθμη νερού, υψόμετρο πιεζομετρικής επιφάνειας και γεωλογικό σχηματισμό

Αρ. Δείγματος	Είδος Υδροσημείου	Περιοχή	X	Y	Απ. Υψόμετρο	Βάθος Υδροσημείου (m)	Στάθμη νερού (m)	Απ.Υψ.Πιεζ/κής. Επιφάνειας (m)	Γεωλογικός Σχηματισμός
Δ1	Γεώτρηση	Σμαλού	749909	4116715	50	105			sch
Δ2	Γεώτρηση	Σμαλού	749497	4116464	139	140			sch
Δ3	Πηγάδι	Άλιντα	751440	4116260	17		6.5	10.5	sch
Δ4	Πηγάδι	Καμάρα	750535	4116393	37		3	34	sch
Δ5	Πηγάδι	Καμάρα	750995	4116081	12	16			C-P.ph,qt
Δ6	Γεώτρηση	Καμάρα	750583	4116324	37				sch
Δ7	Γεώτρηση	Σμαλού	750159	4117444	98				sch
Δ8	Γεώτρηση	Σμαλού	749850	4116997	70				sch
Δ9	Πηγάδι	Κόκκαλη	750348	4115970	22	8	6	16	C-P.ph,qt
Δ10	Πηγάδι	Κόκκαλη	750205	4115747	8		8	0	C-P.ph,qt
Δ11	Πηγάδι	Γούρνα	751106	4115464	4	4	2.8	1.2	Al
Δ12	Πηγάδι	Γούρνα	751274	4116047	24		5	19	C-P.ph,qt
Δ13	Πηγάδι	Άλιντα	751172	4117133	52		2	50	C-P.ph,qt

Δ14	Πηγάδι	Άλιντα	751118	4116995	17	11	6	11	sch
Δ15	Πηγάδι	Άλιντα	750945	4116916	40	15	7.5	32.5	sch
Δ16	Πηγάδι	Άλιντα	750901	4117141	44		4	40	sch
Δ17	Πηγάδι	Άλιντα	751178	4116555	35	16	9	26	sch
Δ18	Πηγάδι	Άλιντα	751339	4116856	16		3.2	12.8	sch
Δ19	Πηγάδι	Άλιντα	751534	4116725	3	5	3	0	Al
Δ20	Πηγάδι	Άλιντα	751695	4117197	30		19	11	C-P.ph,qt
Δ21	Πηγάδι	Άλιντα	751604	4117184	33		1.5	31.5	C-P.ph,qt
Δ22	Πηγή	Παναγίες	752507	4117146	11				Ji-m.k
Δ23	Πηγή	Παναγίες	751254	4113863	34				C-P.ph,qt
Δ24	Πηγάδι	Άλιντα	751273	4116628	18				sch
Δ25	Πηγάδι	Δρυμόνας	750588	4114057	3		2	1	Al
Δ26	Πηγάδι	Δρυμόνας	751213	4114322	15	8	7	8	Al
Δ27	Πηγάδι	Γούρνα	751434	4115225	14	19	14	0	Al
Δ28	Πηγάδι	Δρυμόνας	750767	4113902	8	10	8	0	C-P.ph,qt
Δ29	Πηγάδι	Δρυμόνας	751578	4113652	65	8.5	5	60	sch
Δ30	Πηγάδι	Δρυμόνας	751660	4113831	59	10	6	53	sch
Δ31	Πηγάδι	Δρυμόνας	751390	4113845	30	3	1.4	28.6	sch
Δ32	Πηγή	Γούρνα	752133	4114985	34				C-P.ph,qt
Δ33	Πηγάδι	Γούρνα	752042	4114955	19	11.5	8	11	C-P.ph,qt
Δ34	Πηγάδι	Κριθώνι	752090	4115433	28		2.1	25.9	C-P.ph,qt
Δ35	Πηγάδι	Κριθώνι	751926	4115664	22		1.2	20.8	C-P.ph,qt
Δ36	Πηγάδι	Κριθώνι	752592	4115628	12	10	9	3	C-P.ph,qt
Δ37	Πηγάδι	Κριθώνι	752010	4115682	13		3.9	9.1	C-P.ph,qt
Δ38	Πηγάδι	Αγ. Μαρίνα	753376	4115759	13	5.5	5	8	sch
Δ39	Πηγή	Αγ. Μαρίνα	752894	4115570	39				Ji-m.k

Δ40	Πηγή	Παρθένι	748762	4118967	11														Ji-m.k
Δ41	Πηγή	Παντέλι	754309	4115133	20														Ji-m.k
Δ42	Πηγάδι	Παντέλι	753837	4115177	10				7		4.5			5.5					sch

**Πίνακας 5:** Περιγραφή των σημείων υδροληψίας, ως προς τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων (meq/l) και η ακρίβεια ιοντικού ισοζυγίου.

Αρ, Δείγματος	Κύρια Κατιόντα								Άθροισμα, Κ, Κατιόντων (meq/l)	Κύρια Ανιόντα								Άθροισμα, Κ, Ανιόντων (meq/l)	Ιοντικό Ισοζύγιο (%)
	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (meq/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)		
Δ1	76	3,79	43	3,53	51,6	2,24	0,4	0,01	9,57	274,5	4,5	106,4	3	87	1,81	19,8	0,32	9,63	0,3
Δ2	76	3,79	55,7	4,58	112,9	4,91	1,1	0,03	13,31	414,8	6,8	177,3	5	87	1,81	13,2	0,21	13,82	1,9
Δ3	143,2	7,15	107,8	8,86	334	14,53	0,7	0,02	30,56	353,8	5,8	780,1	22	157,5	3,28	22	0,35	31,43	1,4
Δ4	84	4,19	32,6	2,68	143,9	6,26	0,4	0,01	13,14	189,1	3,1	248,2	7	77	1,6	24,2	0,39	12,09	-4,2
Δ5	140,8	7,03	75,7	6,22	82,2	3,58	1,1	0,03	16,86	244	4	390	11	91	1,89	48,4	0,78	17,67	2,3
Δ6	105,6	5,27	60,4	4,96	95,2	4,14	0,1	0,002	14,37	280,6	4,6	248,2	7	139	2,89	79,2	1,28	15,77	4,6
Δ7	74,4	3,71	37,8	3,11	94,3	4,1	0,3	0,01	10,93	317,2	5,2	141,8	4	67,5	1,4	36,3	0,58	11,18	1,1
Δ8	82,4	4,11	48,7	4	59,3	2,58	0,1	0,002	10,69	207,4	3,4	177,3	5	101,5	2,11	60,5	0,97	11,48	3,6
Δ9	172,8	8,62	70,9	5,83	98,4	4,28	0,7	0,02	18,75	207,4	3,4	390	11	120	2,5	45,1	0,73	17,63	-3,1
Δ10	202,4	10,1	50,4	4,14	151	6,57	1,1	0,03	20,84	347,7	5,7	425,5	12	133,5	2,78	31,9	0,51	20,99	0,4



Δ11	523,2	26,11	106,5	8,75	269	11,7	1,6	0,04	46,6	329,4	5,4	1134,8	32	273,5	5,69	57,2	0,92	44,01	-2,9
Δ12	346,6	17,29	82,2	6,76	179	7,79	1,5	0,04	31,88	439,2	7,2	780,1	22	227,5	4,73	33	0,53	34,46	3,9
Δ13	130,4	6,51	12,17	1	71,1	3,09	4,5	0,12	10,72	335,5	5,5	177,3	5	33,5	0,7	34,1	0,55	11,75	4,6
Δ14	245,6	12,26	40,9	3,36	292	12,7	2	0,05	28,37	372,1	6,1	567,4	16	228	4,74	74,8	1,2	28,04	-0,6
Δ15	59,2	2,95	22,2	1,82	56	2,44	0,1	0,003	7,21	183	3	85,1	2,4	65,5	1,36	30,8	0,5	7,26	0,3
Δ16	144,8	7,23	44,8	3,68	165,5	7,2	6,1	0,16	18,27	414,8	6,8	283,7	8	100	2,08	41,8	0,67	17,55	-2,0
Δ17	134,4	6,71	57,4	4,71	167,8	7,3	1,6	0,04	18,76	378,2	6,2	319,1	9	92	1,91	34,1	0,55	17,66	-3,0
Δ18	148,8	7,43	80,4	6,61	191	8,31	0,1	0,003	22,35	317,2	5,2	390	11	176,5	3,67	24,2	0,39	20,26	-4,9
Δ19	234,4	11,7	71,7	5,89	165,2	7,19	1	0,03	24,81	402,6	6,6	461	13	208,5	4,34	46,2	0,74	24,68	-0,3
Δ20	268,8	13,4	51,3	4,22	168	7,31	4,2	0,11	25,04	396,5	6,5	567,4	16	119,5	2,49	59,4	0,96	25,95	1,8
Δ21	148	7,39	24,8	2,04	195,4	8,5	4,9	0,13	18,06	408,7	6,7	319,1	9	71	1,48	26,4	0,43	17,61	-1,3
Δ22	94,4	4,71	4,3	0,35	41,4	1,8	0,2	0,005	6,87	256,2	4,2	70,9	2	13	0,27	16,5	0,27	6,74	-0,9
Δ23	116	5,79	6,96	0,57	95	4,13	1	0,03	10,52	353,8	5,8	177,3	5	25,5	0,53	12,1	0,19	11,52	4,5
Δ24	127,2	6,35	46,1	3,79	82,9	3,6	0,4	0,01	13,75	274,5	4,5	248,2	7	124	2,57	52,8	0,85	14,92	4,1
Δ25	404	20,16	90,9	7,47	666	28,97	3,2	0,08	56,68	341,6	5,6	1489,4	42	268,5	5,58	79,2	1,28	54,46	-2,0
Δ26	272	13,57	59,1	4,86	241	10,48	1,9	0,05	28,96	323,3	5,3	709,2	20	226	4,7	74,8	1,2	31,2	3,7
Δ27	500	24,95	47,4	3,9	217	9,44	2,1	0,05	38,34	353,8	5,8	992,9	28	234,5	4,88	132	2,13	40,81	3,1
Δ28	176	8,78	17,8	1,46	86,3	3,75	0,5	0,01	14	390,4	6,4	106,4	3	126,5	2,63	40,7	0,66	12,69	-4,9
Δ29	57,6	2,87	16,5	1,36	49,9	2,17	0,1	0,002	6,40	195,2	3,2	85,1	2,4	33,5	0,7	22	0,35	6,65	1,9
Δ30	184	9,18	34,4	2,83	113,6	4,94	0,8	0,02	16,97	317,2	5,2	319,2	9	122,5	2,55	66	1,06	17,81	2,4
Δ31	137,6	6,87	24,4	2,01	149,4	6,5	0,7	0,02	15,4	408,7	6,7	212,8	6	93,5	1,94	17,6	0,28	14,92	-1,6
Δ32	138,4	6,91	11,3	0,93	100,5	4,37	0,4	0,01	12,22	329,4	5,4	177,3	5	86	1,79	25,3	0,41	12,6	1,5
Δ33	232	11,58	24,8	2,04	264,4	11,5	3	0,08	25,2	402,6	6,6	461	13	144,5	3	33	0,53	23,13	-4,3
Δ34	191,2	9,54	14,4	1,18	103	4,48	0,5	0,01	15,21	414,8	6,8	248,2	7	115,5	2,4	35,2	0,57	16,77	4,9
Δ35	190,4	9,5	15,7	1,29	169	7,35	0,5	0,01	18,15	378,2	6,2	354,6	10	122,5	2,55	52,8	0,85	19,6	3,8
Δ36	320	16	88,7	7,29	249,9	10,87	0,3	0,01	34,17	378,2	6,2	780,1	22	157,5	3,28	22	0,35	31,83	-3,5

Δ37	200	9,98	12,6	1,04	142,5	6,2	0,7	0,02	17,24	390,4	6,4	283,7	8	112,5	2,34	35,2	0,57	17,31	0,2
Δ38	200	9,98	156,5	12,86	682	29,67	48,2	1,23	53,74	549	9	1347,5	38	258,5	5,38	61,6	0,99	53,37	-0,3
Δ39	165,6	8,26	65,2	5,4	399,6	17,38	31,5	0,8	31,84	311,1	5,1	780,1	22	169	3,52	102,3	1,65	32,27	0,7
Δ40	138,4	6,91	116,1	9,54	1060	46,11	35,9	0,92	63,48	329,4	5,4	1702,1	48	232,5	4,84	18,7	0,3	58,54	-4,0
Δ41	70,4	3,51	14,8	1,22	59,8	2,6	0	0	7,33	231,8	3,8	99,3	2,8	24	0,5	15,4	0,25	7,35	0,1
Δ42	127,2	6,35	32,6	2,68	197,7	8,6	3,8	0,1	17,73	402,6	6,6	319,1	9	88,5	1,84	18,7	0,3	17,74	0,0

**Πίνακας 6:** Γενικά στατιστικά στοιχεία των σημείων υδροληψίας, ως προς τους φυσικοχημικούς παραμέτρους (θερμοκρασία, pH, Eh, O<sub>2</sub>, E.C), ανά υδρογεωλογικό περιβάλλον.

<b>ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ</b>						
<b>Αρ. Δείγματος</b>	<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	<b>pH</b>	<b>Eh (mVolt)</b>	<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<b>E.C. (μS/cm)</b>	<b>Τύπος νερού</b>
Δ11	20,2	7,3	407	3,5	5490	Ca-Na-Cl
Δ19	21,8	7,5	312	4,6	2880	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ25	24,7	7,4	369	4,2	6580	Na-Ca-Cl
Δ26	22,7	7,7	268	6,6	3280	Ca-Na-Cl
Δ27	22	7,3	280	2,4	4710	Ca-Na-Cl
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>20,2</b>	<b>7,3</b>	<b>268</b>	<b>2,4</b>	<b>2880</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>24,7</b>	<b>7,7</b>	<b>407</b>	<b>6,6</b>	<b>6580</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>22,3</b>	<b>7,4</b>	<b>327</b>	<b>4,3</b>	<b>4588</b>	
<b>ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (ΚΑΡΣΤΙΚΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ)</b>						
<b>Αρ. Δείγματος</b>	<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	<b>pH</b>	<b>Eh (mVolt)</b>	<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<b>E.C. (μS/cm)</b>	<b>Τύπος νερού</b>
Δ22	21,1	8	322	6,6	798	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ39	20,5	7,8	291	6,6	3860	Na-Ca-Cl

Δ40	21,6	7,5	270	5,8	7070	Na-Cl
Δ41	20	8,1	312	6	814	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>20</b>	<b>7,5</b>	<b>270</b>	<b>5,8</b>	<b>798</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>21,6</b>	<b>8,1</b>	<b>322</b>	<b>6,6</b>	<b>7070</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>20,8</b>	<b>7,9</b>	<b>299</b>	<b>6,3</b>	<b>3136</b>	
<b>ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</b>						
<b>Αρ. Δείγματος</b>	<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	<b>pH</b>	<b>Eh (mVolt)</b>	<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<b>E.C. (μS/cm)</b>	<b>Τύπος νερού</b>
Δ1	22,2	8	524	4,3	1240	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ2	22	7,7	265	4	1264	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ3	21,3	7,4	378	5,3	3510	Na-Mg-Ca-Cl
Δ4	20,6	7,8	300	5,8	1353	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ5	20,9	7,7	313	4,1	2130	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ6	22,6	7,8	343	6,8	1679	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ7	21,1	8	344	5,8	1123	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> Cl
Δ8	22,6	7,6	325	3,9	1380	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ9	21,9	7,5	361	5,4	2280	Ca-Mg-Na-Cl
Δ10	22,5	7,6	342	5,9	2510	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ12	19,8	7,5	330	4,4	3820	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ13	21	7,6	383	5,4	1284	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ14	21,2	7,7	366	6	3280	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ15	21,3	7,6	350	4,5	780	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ16	20,9	7,5	280	3,3	1856	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ17	21,7	7,5	276	3,4	1879	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>

Δ18	21,8	7,6	375	3,4	2130	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ20	22,4	7,4	325	4,7	3110	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ21	22,8	7,4	362	4,3	1797	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ23	20,1	7,7	297	4,3	1083	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ24	21,4	7,5	358	4,9	1630	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ28	22,1	7,5	360	5,6	1600	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ29	21,3	7,8	270	4,6	736	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ30	21,9	7,7	406	5,3	2010	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ31	19,9	7,7	332	4,1	1418	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ32	21,9	7,7	368	6,6	1252	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ33	22,2	7,5	390	6,6	2610	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ34	23,4	7,5	312	1,7	1755	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ35	25,4	7,6	302	4,2	2190	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ36	23,8	7,3	275	4,2	3320	Ca-Na-Mg-Cl
Δ37	21,2	7,5	439	5	2040	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ38	20,9	7,5	306	3,2	6000	Na-Mg-Cl
Δ42	19,6	7,4	270	4,6	2010	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>19,6</b>	<b>7,3</b>	<b>265</b>	<b>1,7</b>	<b>736</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>25,4</b>	<b>8</b>	<b>524</b>	<b>6,8</b>	<b>6000</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>21,7</b>	<b>7,6</b>	<b>340</b>	<b>4,7</b>	<b>2062</b>	

**Πίνακας 7:** Γενικά στατιστικά στοιχεία των σημείων υδροληψίας, ως προς την ολική, παροδική και μόνιμη σκληρότητα, ανά υδρογεωλογικό περιβάλλον.

<b>ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ</b>							
<b>Αρ. Δείγματος</b>	<b>Ολική (mg/l)</b>	<b>Ολική (°dH)</b>	<b>Παροδική (mg/l)</b>	<b>Παροδική (°dH)</b>	<b>Μόνιμη (mg/l)</b>	<b>Μόνιμη (°dH)</b>	<b>Τύπος νερού</b>
Δ11	1740	97,8	269	15,1	1471	82,7	Ca-Na-Cl
Δ19	880	49,4	329	18,5	551	30,9	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ25	1380	77,5	280	15,7	1100	61,8	Na-Ca-Cl
Δ26	920	51,7	263	14,8	657	36,9	Ca-Na-Cl
Δ27	1440	80,9	288	16,2	1152	64,7	Ca-Na-Cl
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>880</b>	<b>49,4</b>	<b>263</b>	<b>14,8</b>	<b>551</b>	<b>30,9</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>1740</b>	<b>97,8</b>	<b>329</b>	<b>18,5</b>	<b>1471</b>	<b>82,7</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>1272</b>	<b>71,5</b>	<b>285,8</b>	<b>16,06</b>	<b>986,2</b>	<b>55,4</b>	
<b>ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (ΚΑΡΣΤΙΚΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ)</b>							
<b>Αρ. Δείγματος</b>	<b>Ολική (mg/l)</b>	<b>Ολική (°dH)</b>	<b>Παροδική (mg/l)</b>	<b>Παροδική (°dH)</b>	<b>Μόνιμη (mg/l)</b>	<b>Μόνιμη (°dH)</b>	<b>Τύπος νερού</b>
Δ22	252	14,2	210	11,8	42	2,4	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ39	680	38,2	255	14,3	425	23,9	Na-Ca-Cl
Δ40	820	46,1	269	15,1	551	31	Na-Cl
Δ41	236	13,3	189	10,6	47	2,7	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>236</b>	<b>13,3</b>	<b>189</b>	<b>10,6</b>	<b>42</b>	<b>2,4</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>820</b>	<b>46,1</b>	<b>269</b>	<b>15,1</b>	<b>551</b>	<b>31</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>497</b>	<b>28,0</b>	<b>230,8</b>	<b>13,0</b>	<b>266,3</b>	<b>15</b>	

ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ							
Αρ. Δείγματος	Ολική (mg/l)	Ολική (°dH)	Παροδική (mg/l)	Παροδική (°dH)	Μόνιμη (mg/l)	Μόνιμη (°dH)	Τύπος νερού
Δ1	364	20,5	224	12,6	140	7,9	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ2	416	23,4	338	19	78	4,4	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ3	800	44,9	288	16,2	512	28,7	Na-Mg-Ca-Cl
Δ4	344	19,3	155	8,7	189	10,6	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ5	660	37,1	199	11,2	461	25,9	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ6	510	28,7	230	12,9	280	15,8	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ7	340	19,1	260	14,6	80	4,5	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> Cl
Δ8	404	22,7	169	9,5	235	13,2	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ9	720	40,5	169	9,5	551	31	Ca-Mg-Na-Cl
Δ10	710	39,9	285	16	425	23,9	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ12	1200	67,4	360	20,2	840	47,2	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ13	376	21,1	274	15,4	102	5,7	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ14	780	43,8	304	17,1	476	26,7	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ15	238	13,4	150	8,4	88	5	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ16	545	30,6	338	19	207	11,6	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ17	570	32	310	17,4	260	14,6	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ18	700	39,3	260	14,6	440	24,7	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ20	880	49,4	324	18,2	556	31,2	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ21	470	26,4	335	18,8	135	7,6	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ23	316	17,8	288	16,2	28	1,6	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ24	506	28,4	224	12,6	282	15,8	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ28	510	28,7	319	17,9	191	10,8	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl

Δ29	212	11,9	160	9	52	2,9	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ30	600	33,7	260	14,6	340	19,1	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ31	444	24,9	335	18,8	109	6,1	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ32	392	22	269	15,1	123	6,9	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ33	680	38,2	329	18,5	351	19,7	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ34	536	30,1	338	19	198	11,1	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ35	540	30,3	310	17,4	230	12,9	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ36	1160	65,2	310	17,4	850	47,8	Ca-Na-Mg-Cl
Δ37	550	30,9	319	17,9	231	13	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ38	1140	64	449	25,2	691	38,8	Na-Mg-Cl
Δ42	450	25,3	329	18,5	121	6,8	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>212</b>	<b>11,9</b>	<b>150</b>	<b>8,4</b>	<b>28</b>	<b>1,6</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>1200</b>	<b>67,4</b>	<b>449</b>	<b>25,2</b>	<b>850</b>	<b>47,8</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>578</b>	<b>32,5</b>	<b>279,1</b>	<b>15,7</b>	<b>298,5</b>	<b>16,8</b>	

**Πίνακα 8:** Γενικά στατιστικά στοιχεία των σημείων, ως προς τα κύρια ιόντα, τα δευτερεύοντα ιόντα, το TDS και το SiO<sub>2</sub>, ανά υδρογεωλογικό περιβάλλον. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις, που ξεπερνούν τα όρια, που θέτει η Ε.Ε για το πόσιμο νερό (Οδηγία 98/83/ΕΚ).

ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ															
Αρ. Δείγματος	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	Br <sup>-</sup> (mg/l)	I <sup>-</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	TDS (mg/l)	Τύπος Νερού
Δ11	523,2	106,5	269	1,6	329,4	1.134,8	273,5	57,2	0,7	0,14	0,15	0,21	27,3	2724	Ca-Na-Cl
Δ19	234,4	71,7	165,2	1	402,6	461	208,5	46,2	0,26	0,18	0,08	0,15	31,1	1623	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ25	404	90,9	666	3,2	341,6	1.489,4	268,5	79,2	0,16	0,28	0,01	0,02	28,4	3373	Na-Ca-Cl
Δ26	272	59,1	241	1,9	323,3	709,2	226	74,8	0,16	0,25	0,02	0,05	22,9	1932	Ca-Na-Cl
Δ27	500	47,4	217	2,1	353,8	992,9	234,5	132	0,42	0,25	0	0,03	17,5	2499	Ca-Na-Cl
Ελάχιστη Τιμή	234,4	47,4	165,2	1,0	323,3	461,0	208,5	46,2	0,16	0,14	0	0,02	17,5	1623	
Μέγιστη Τιμή	523,2	106,5	666,0	3,2	402,6	1489,4	273,5	132,0	0,70	0,28	0,15	0,21	31,1	3373	
Μέση Τιμή	386,7	75,1	311,6	2	350,1	957,5	242,2	77,9	0,34	0,22	0,05	0,09	25,44	2430	
ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (ΚΑΡΣΤΙΚΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ)															
Αρ. Δείγματος	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	Br <sup>-</sup> (mg/l)	I <sup>-</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	TDS (mg/l)	Τύπος Νερού
Δ22	94,4	4,3	41,4	0,2	256,2	70,9	13	16,5	0,23	0,11	0,01	0,02	10,1	508	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ39	165,6	65,2	399,6	31,5	311,1	780,1	169	102,3	0,19	0,35	0,06	0,08	14,3	2041	Na-Ca-Cl
Δ40	138,4	116,1	1.060	35,9	329,4	1.702,1	232,5	18,7	0,26	0,35	0	0	11,7	3646	Na-Cl
Δ41	70,4	14,8	59,8	0	231,8	99,3	24	15,4	0,19	0,04	0	0	9,1	526	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Ελάχιστη Τιμή	70,4	4,3	41,4	0	231,8	70,9	13	15,4	0,19	0,04	0	0	9,1	508	
Μέγιστη Τιμή	165,6	116,1	1060	35,9	329,4	1702,1	232,5	102,3	0,26	0,35	0,06	0,08	14,3	3646	
Μέση Τιμή	117,2	50,1	390,2	16,9	282,1	663,1	109,6	38,2	0,22	0,21	0,02	0,03	11,3	1680	



**ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΗ**

Αρ, Δείγματος	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	Br <sup>-</sup> (mg/l)	I <sup>-</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	TDS (mg/l)	Τύπος νερού
Δ1	76	43	51,6	0,4	274,5	106,4	87	19,8	0,26	0,15	0,48	0,62	25,9	687	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ2	76	55,7	112,9	1,1	414,8	177,3	87	13,2	0,13	0,21	0,03	0,11	23,4	963	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ3	143,2	107,8	334	0,7	353,8	780,1	157,5	22	0,29	0,13	0,02	0,08	27,1	1928	Na-Mg-Ca-Cl
Δ4	84	32,6	143,9	0,4	189,1	248,2	77	24,2	0,32	0,17	0,09	0,06	31,7	833	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ5	140,8	75,7	82,2	1,1	244	390	91	48,4	0,19	0,27	0,02	0,15	38,8	1114	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ6	105,6	60,4	95,2	0,1	280,6	248,2	139	79,2	0,16	0,26	0,03	0,11	37,8	1048	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ7	74,4	37,8	94,3	0,3	317,2	141,8	67,5	36,3	0,16	0,13	0	0,06	20,4	791	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> Cl
Δ8	82,4	48,7	59,3	0,1	207,4	177,3	101,5	60,5	0,19	0,15	0,08	0,09	26,3	765	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ9	172,8	70,9	98,4	0,7	207,4	390	120	45,1	0,19	0,1	0,1	0,12	30	1136	Ca-Mg-Na-Cl
Δ10	202,4	50,4	151	1,1	347,7	425,5	133,5	31,9	0,29	0,18	0,09	0,11	26	1371	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ12	346,6	82,2	179	1,5	439,2	780,1	227,5	33	0,32	0,08	0,13	0,16	29,2	2120	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ13	130,4	12,17	71,1	4,5	335,5	177,3	33,5	34,1	0,26	0,2	0,01	0	19	819	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ14	245,6	40,9	292	2	372,1	567,4	228	74,8	0,32	0,21	0,1	0,06	19,1	1843	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ15	59,2	22,2	56	0,1	183	85,1	65,5	30,8	0,26	0,11	0,06	0,03	27,9	531	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ16	144,8	44,8	165,5	6,1	414,8	283,7	100	41,8	0,29	0,07	0,04	0,02	22,4	1225	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ17	134,4	57,4	167,8	1,6	378,2	319,1	92	34,1	0,16	0,08	0,12	0,16	27,7	1214	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ18	148,8	80,4	191	0,1	317,2	390	176,5	24,2	0,32	0,14	0,09	0	25,1	1355	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ20	268,8	51,3	168	4,2	396,5	567,4	119,5	59,4	0,19	0,13	0,01	0,03	26,1	1662	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ21	148	24,8	195,4	4,9	408,7	319,1	71	26,4	0,19	0,25	0,02	0,04	23,4	1223	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ23	116	6,96	95	1	353,8	177,3	25,5	12,1	0,16	0,1	0	0	16,5	805	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ24	127,2	46,1	82,9	0,4	274,5	248,2	124	52,8	0,19	0,07	0,05	0,09	28,2	986	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ28	176	17,8	86,3	0,5	390,4	106,4	126,5	40,7	0,29	0,28	0	0,02	23,5	970	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl

Δ29	57,6	16,5	49,9	0,1	195,2	85,1	33,5	22	0,29	0,55	0,05	0,08	26,1	488	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ30	184	34,4	113,6	0,8	317,2	319,2	122,5	66	0,19	0,8	0,01	0,01	26,3	1186	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ31	137,6	24,4	149,4	0,7	408,7	212,8	93,5	17,6	0,19	0,14	0	0	23,1	1069	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ32	138,4	11,3	100,5	0,4	329,4	177,3	86	25,3	0,19	0,1	0	0	17,3	887	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
Δ33	232	24,8	264,4	3	402,6	461	144,5	33	0,16	0,06	0,01	0	21,4	1588	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ34	191,2	14,4	103	0,5	414,8	248,2	115,5	35,2	0,35	0,08	0,09	0,15	18,5	1143	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ35	190,4	15,7	169	0,5	378,2	354,6	122,5	52,8	0,13	0,05	0	0,01	16,5	1301	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ36	320	88,7	249,9	0,3	378,2	780,1	157,5	22	0,23	0,15	0	0	29,9	2028	Ca-Na-Mg-Cl
Δ37	200	12,6	142,5	0,7	390,4	283,7	112,5	35,2	0,16	0,09	0	0	16,8	1196	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
Δ38	200	156,5	682	48,2	549	1347,5	258,5	61,6	0,52	1,5	0,03	0,02	23,8	3330	Na-Mg-Cl
Δ42	127,2	32,6	197,7	3,8	402,6	319,1	88,5	18,7	0,23	0,07	0	0	14,8	1206	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>57,6</b>	<b>7,0</b>	<b>49,9</b>	<b>0,1</b>	<b>183,0</b>	<b>85,1</b>	<b>25,5</b>	<b>12,1</b>	<b>0,13</b>	<b>0,05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14,8</b>	<b>488</b>	
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	<b>346,6</b>	<b>156,5</b>	<b>682,0</b>	<b>48,2</b>	<b>549,0</b>	<b>1347,5</b>	<b>258,5</b>	<b>79,2</b>	<b>0,52</b>	<b>1,5</b>	<b>0,48</b>	<b>0,62</b>	<b>38,8</b>	<b>3330</b>	
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>157,0</b>	<b>45,5</b>	<b>157,4</b>	<b>2,8</b>	<b>341,4</b>	<b>354,4</b>	<b>114,7</b>	<b>37,4</b>	<b>0,24</b>	<b>0,21</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>24,55</b>	<b>1237</b>	

**Πίνακας 9:** Τα γενικά στατιστικά στοιχεία για των βαρέων μετάλλων. Με κόκκινο χρώμα είναι οι τιμές των συγκεντρώσεων που ξεπερνούν τα όρια που θέτει η Ε.Ε για πόσιμο νερό.

<b>ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ</b>								
<b>NO</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Mn</b>	<b>Co</b>	<b>Fe</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
<b>Δ11</b>	0,05	0,02	0,04	0,23	0,11	0,15	0	0
<b>Δ19</b>	0,07	0,02	0,07	0,13	0,13	0,14	0,14	0
<b>Δ25</b>	0,07	0	0,03	0,24	0,07	0,18	0,26	0
<b>Δ26</b>	0,08	0	0,05	0,2	0,13	0,26	0,16	0,02
<b>Δ27</b>	0,11	0,02	0,04	0,14	0,17	0,27	0,24	0,06
<b>MIX</b>	0,05	0	0,03	0,13	0,07	0,14	0	0
<b>MAX</b>	0,11	0,02	0,07	0,24	0,17	0,27	0,26	0,06
<b>AVER</b>	0,08	0,01	0,05	0,19	0,12	0,20	0,16	0,02
<b>ΚΑΡΣΤΙΚΑ</b>								
<b>NO</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Mn</b>	<b>Co</b>	<b>Fe</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
<b>Δ22</b>	0,04	0,05	0,02	0,12	0,07	0,22	0,13	0,01
<b>Δ39</b>	0,08	0	0,04	0,35	0,14	0,21	0,29	0,02
<b>Δ40</b>	0,09	0	0,01	0,29	0,19	0,15	0,09	0,02
<b>Δ41</b>	0,08	0,02	0,05	0,25	0,11	0,28	0,18	0,02
<b>MIX</b>	0,04	0	0,01	0,12	0,07	0,15	0,09	0,01
<b>MAX</b>	0,09	0,05	0,05	0,35	0,19	0,28	0,29	0,02
<b>AVER</b>	0,07	0,02	0,03	0,25	0,13	0,22	0,17	0,02
<b>ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΗ</b>								
<b>NO</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Mn</b>	<b>Co</b>	<b>Fe</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>
<b>Δ1</b>	0,11	0,03	0,02	0,24	0,12	0,1	0,13	0
<b>Δ2</b>	0,64	0,02	0,02	0,16	0,1	0,13	0,14	0
<b>Δ3</b>	0,12	0,02	0,03	0,22	0,11	0,22	0,18	0
<b>Δ4</b>	0,1	0,14	0,05	0,13	0,25	0,17	0,14	0
<b>Δ5</b>	0,06	0,01	0,02	0,27	0,14	0,22	0,21	0
<b>Δ6</b>	0,12	0,03	0,04	0,18	0,12	0,19	0,23	0
<b>Δ7</b>	0,23	0	0,03	0,1	0,17	0,16	0,17	0
<b>Δ8</b>	0,23	0,02	0,03	0,09	0,23	0,2	0,09	0
<b>Δ9</b>	0,07	0,01	0	0,12	0,09	0,14	0,19	0,02
<b>Δ10</b>	0,07	0,01	0,01	0,09	0,15	0,11	0,09	0,06
<b>Δ12</b>	0,04	0,01	0,02	0,14	0,17	0,14	0,27	0,03
<b>Δ13</b>	0,07	0	0,04	0,26	0,11	0,16	0,09	0,02
<b>Δ14</b>	0,07	0,01	0,03	0,14	0,15	0,12	0,17	0,03
<b>Δ15</b>	0,03	0,01	0,02	0,14	0,14	0,16	0,11	0
<b>Δ16</b>	0,14	0	0,03	0,08	0,22	0,2	0,25	0
<b>Δ17</b>	0,06	0,01	0,04	0,18	0,12	0,14	0,23	0,01
<b>Δ18</b>	0,06	0,01	0,02	0,19	0,14	0,14	0,18	0,01
<b>Δ20</b>	0,04	0,01	0,02	0,11	0,07	0,17	0,12	0,09
<b>Δ21</b>	0,06	0,02	0	0,15	0,14	0,17	0,17	0
<b>Δ23</b>	0,03	0,06	0,03	0,1	0,14	0,23	0,16	0

Δ24	0,05	0,01	0,01	0,11	0,12	0,18	0,34	0,01
Δ28	0,11	0,03	0,04	0,16	0,19	0,22	0,18	0,05
Δ29	0,12	0	0,02	0,19	0,11	0,23	0,22	0,01
Δ30	0,09	0,02	0,06	0,2	0,19	0,23	0,11	0,03
Δ31	0,09	0,02	0,05	0,19	0,14	0,22	0,1	0
Δ32	0,2	0	0,04	0,07	0,13	0,24	0,04	0
Δ33	0,07	0,01	0,09	0,31	0,07	0,3	0,15	0,05
Δ34	0,09	0,03	0,04	0,21	0,17	0,25	0,19	0,02
Δ35	0,11	0,02	0,07	0,13	0,16	0,24	0,19	0
Δ36	0,11	0,01	0	0,28	0,13	0,23	0,1	0,03
Δ37	0,12	0,03	0,04	0,29	0,08	0,31	0,26	0,01
Δ38	0,13	0,01	0,04	0,31	0,12	0,2	0,26	0,04
Δ42	0,09	0,01	0,03	0,22	0,11	0,3	0,32	0,06
MIN	0,03	0	0	0,07	0,07	0,1	0,04	0
MAX	0,64	0,14	0,09	0,31	0,25	0,31	0,34	0,09
AVER	0,11	0,02	0,03	0,17	0,14	0,19	0,18	0,02

**Πίνακας 10:** Οι τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές, που ξεπερνούν τα όρια, που θέτει το U,S,N,A,Sc και U,S,N,A, Eng (1972) για το αρδευτικό νερό.

NO	Zn	Cd	Mn	Co	Fe	Cr	Ni	Cu
Δ1	0,11	0,03	0,02	0,24	0,12	0,1	0,13	0
Δ2	0,64	0,02	0,02	0,16	0,1	0,13	0,14	0
Δ3	0,12	0,02	0,03	0,22	0,11	0,22	0,18	0
Δ4	0,1	0,14	0,05	0,13	0,25	0,17	0,14	0
Δ5	0,06	0,01	0,02	0,27	0,14	0,22	0,21	0
Δ6	0,12	0,03	0,04	0,18	0,12	0,19	0,23	0
Δ7	0,23	0	0,03	0,1	0,17	0,16	0,17	0
Δ8	0,23	0,02	0,03	0,09	0,23	0,2	0,09	0
Δ9	0,07	0,01	0	0,12	0,09	0,14	0,19	0,02
Δ10	0,07	0,01	0,01	0,09	0,15	0,11	0,09	0,06
Δ11	0,05	0,02	0,04	0,23	0,11	0,15	0	0
Δ12	0,04	0,01	0,02	0,14	0,17	0,14	0,27	0,03
Δ13	0,07	0	0,04	0,26	0,11	0,16	0,09	0,02
Δ14	0,07	0,01	0,03	0,14	0,15	0,12	0,17	0,03
Δ15	0,03	0,01	0,02	0,14	0,14	0,16	0,11	0
Δ16	0,14	0	0,03	0,08	0,22	0,2	0,25	0
Δ17	0,06	0,01	0,04	0,18	0,12	0,14	0,23	0,01
Δ18	0,06	0,01	0,02	0,19	0,14	0,14	0,18	0,01
Δ19	0,07	0,02	0,07	0,13	0,13	0,14	0,14	0

$\Delta 20$	0,04	0,01	0,02	0,11	0,07	0,17	0,12	0,09
$\Delta 21$	0,06	0,02	0	0,15	0,14	0,17	0,17	0
$\Delta 22$	0,04	0,05	0,02	0,12	0,07	0,22	0,13	0,01
$\Delta 23$	0,03	0,06	0,03	0,1	0,14	0,23	0,16	0
$\Delta 24$	0,05	0,01	0,01	0,11	0,12	0,18	0,34	0,01
$\Delta 25$	0,07	0	0,03	0,24	0,07	0,18	0,26	0
$\Delta 26$	0,08	0	0,05	0,2	0,13	0,26	0,16	0,02
$\Delta 27$	0,11	0,02	0,04	0,14	0,17	0,27	0,24	0,06
$\Delta 28$	0,11	0,03	0,04	0,16	0,19	0,22	0,18	0,05
$\Delta 29$	0,12	0	0,02	0,19	0,11	0,23	0,22	0,01
$\Delta 30$	0,09	0,02	0,06	0,2	0,19	0,23	0,11	0,03
$\Delta 31$	0,09	0,02	0,05	0,19	0,14	0,22	0,1	0
$\Delta 32$	0,2	0	0,04	0,07	0,13	0,24	0,04	0
$\Delta 33$	0,07	0,01	0,09	0,31	0,07	0,3	0,15	0,05
$\Delta 34$	0,09	0,03	0,04	0,21	0,17	0,25	0,19	0,02
$\Delta 35$	0,11	0,02	0,07	0,13	0,16	0,24	0,19	0
$\Delta 36$	0,11	0,01	0	0,28	0,13	0,23	0,1	0,03
$\Delta 37$	0,12	0,03	0,04	0,29	0,08	0,31	0,26	0,01
$\Delta 38$	0,13	0,01	0,04	0,31	0,12	0,2	0,26	0,04
$\Delta 39$	0,08	0	0,04	0,35	0,14	0,21	0,29	0,02
$\Delta 40$	0,09	0	0,01	0,29	0,19	0,15	0,09	0,02
$\Delta 41$	0,08	0,02	0,05	0,25	0,11	0,28	0,18	0,02
$\Delta 42$	0,09	0,01	0,03	0,22	0,11	0,3	0,32	0,06

**Πίνακας 11:** Ο πίνακας συσχέτισης, ο οποίος προκύπτει από την παραγοντική ανάλυση.

<b>Πίνακας Συσχέτισης (Correlation Matrix)</b>												
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Cd</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Cr</b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	1,00	0,39	0,31	0,05	0,65	0,76	0,56	-0,18	0,11	-0,13	0,05	0,50
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,39	1,00	0,68	0,55	0,79	0,74	0,24	-0,25	-0,22	-0,04	-0,34	0,44
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,31	0,68	1,00	0,76	0,90	0,66	0,19	-0,23	-0,05	-0,01	-0,08	0,22
<b>K<sup>+</sup></b>	0,05	0,55	0,76	1,00	0,63	0,40	0,23	-0,20	-0,01	0,08	0,00	0,28
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,65	0,79	0,90	0,63	1,00	0,85	0,40	-0,26	-0,07	-0,06	-0,09	0,41
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	0,76	0,74	0,66	0,40	0,85	1,00	0,57	-0,27	0,10	0,02	-0,16	0,48
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,56	0,24	0,19	0,23	0,40	0,57	1,00	-0,20	0,21	0,09	0,08	0,17
<b>Cd</b>	-0,18	-0,25	-0,23	-0,20	-0,26	-0,27	-0,20	1,00	0,16	0,32	0,03	0,08
<b>Mn</b>	0,11	-0,22	-0,05	-0,01	-0,07	0,10	0,21	0,16	1,00	0,05	0,44	-0,03
<b>Fe</b>	-0,13	-0,04	-0,01	0,08	-0,06	0,02	0,09	0,32	0,05	1,00	-0,12	0,16
<b>Cr</b>	0,05	-0,34	-0,08	0,00	-0,09	-0,16	0,08	0,03	0,44	-0,12	1,00	-0,19
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,50	0,44	0,22	0,28	0,41	0,48	0,17	0,08	-0,03	0,16	-0,19	1,00

**Πίνακας 12:** Ιδιοτιμές και ολικές διακυμάνσεις.

<b>Total Variance Explained</b>									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
<b>1</b>	4,727	39,395	39,395	4,727	39,395	39,395	3,139	26,159	26,159
<b>2</b>	1,739	14,489	53,884	1,739	14,489	53,884	2,914	24,279	50,439
<b>3</b>	1,443	12,027	65,911	1,443	12,027	65,911	1,667	13,888	64,326
<b>4</b>	1,270	10,585	76,496	1,270	10,585	76,496	1,460	12,170	76,496
<b>5</b>	,843	7,022	83,517						
<b>6</b>	,586	4,884	88,402						
<b>7</b>	,528	4,403	92,805						
<b>8</b>	,440	3,663	96,467						
<b>9</b>	,261	2,171	98,639						
<b>10</b>	,088	,733	99,371						
<b>11</b>	,070	,581	99,952						
<b>12</b>	,006	,048	100,000						